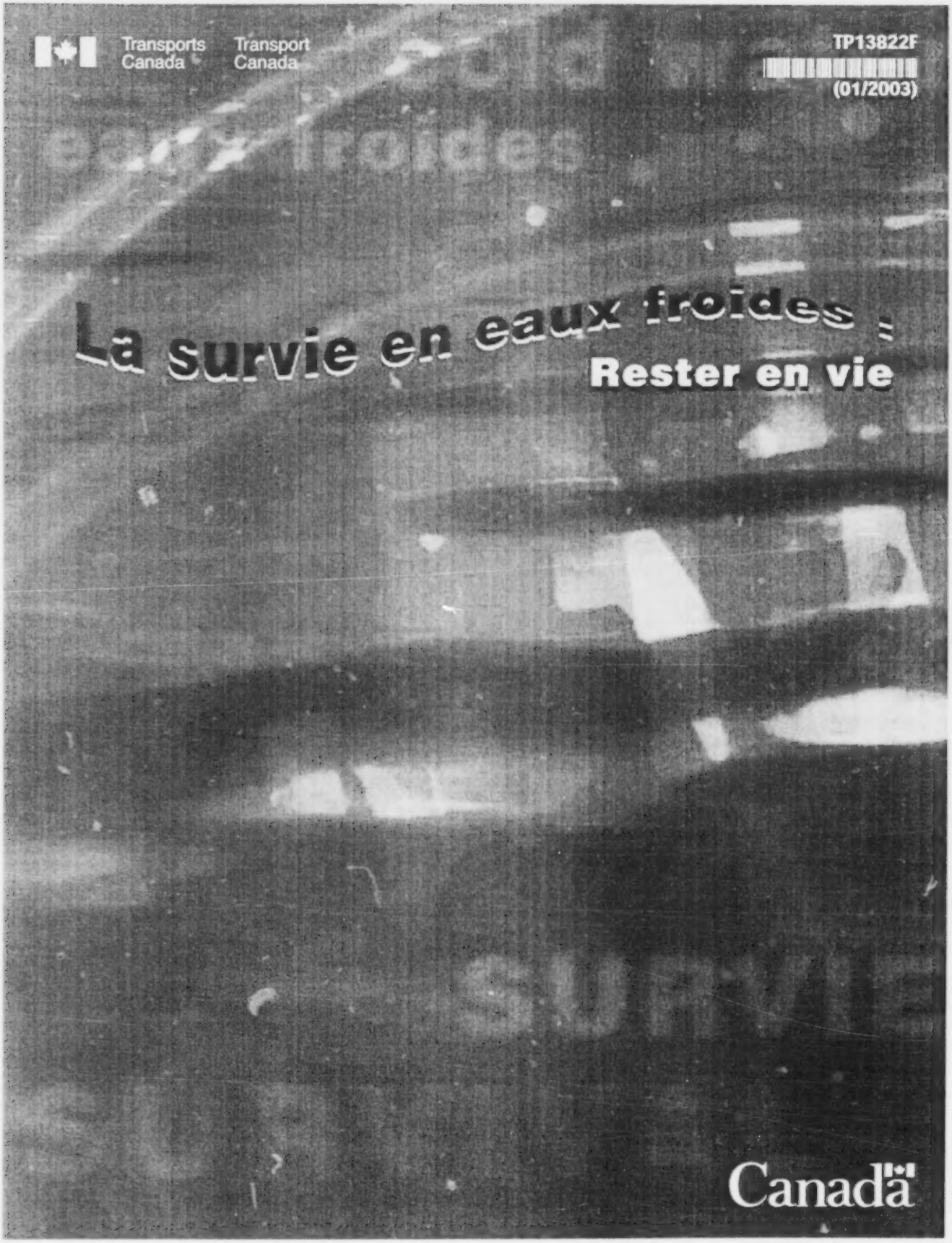

Transports Canada
Transport Canada
TP13822F
(01/2003)
La survie en eaux froides :
Rester en vie
Canada

104-05546/

Imprimé au Canada

Veuillez acheminer vos commentaires, vos commandes ou vos questions à :

Transports Canada
Maritime (AMSRE)
Place de Ville
Tour C
330, rue Sparks
Ottawa, (Ontario) K1A 0N8

Courriel : marinesafety@tc.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Transports 2003.

Le ministère des Transports, Canada autorise la reproduction du contenu de cette publication, en tout ou en partie, pourvu que pleine reconnaissance soit accordée au ministère des Transports, Canada et que la reproduction du matériel soit exacte. Bien que l'utilisation du matériel soit autorisée, le ministère des Transports, Canada se dégage de toute responsabilité quant à la façon dont l'information est présentée et à l'interprétation de celle-ci.

TP13822F

REMERCIEMENTS

Comme dans le cas des premiers travaux sur la survie en eau froide menés pour le compte de Transports Canada aux termes du contrat numéro T8275-010075/001/SS passé avec TPSGC, je tiens à exprimer mes remerciements à plusieurs personnes qui ont contribué à la réalisation de ce rapport. D'abord, ce projet n'aurait pas pu voir le jour sans le concours de Jim Brock et de John Murray de la Direction générale de la sécurité maritime de Transports Canada qui ont déterminé, de concert avec Victor Santos-Pedro, qu'un tel travail s'imposait.

Le rapport n'aurait pu être mené à terme sans l'appui du professeur Mike Tipton de l'University of Portsmouth, au R.-U. et de la Royal Navy Institute of Naval Medicine et de son collègue, Howard Oakley, Ph.D. Les éclaircissements fournis par le professeur Frank Golden sur l'élaboration de la norme OMI 1983 ont été inestimables. Secondés par Carole Tipton, ils ont passé en revue le projet initial et m'ont donné des conseils avisés sur son contenu et sa présentation. John Frim, Ph. D., de l'IMED, m'a fourni le tableau tiré du livre de Burton et d'Edholm. Bob Askew, Steve Portman, Rob Blair et Jim Hartt de Mustang m'ont réservé de leur précieux temps pour réviser le document et donner leur avis sur les aspects techniques qui seront traités dans les normes et les tendances futures en matière de conception de la prochaine génération de combinaisons d'immersion intégrées. Le professeur John Kozey de l'Université de Dalhousie a révisé la version finale du document. Enfin, je ne saurais passer sous silence l'apport de Kimberley Howard qui a passé de longues heures à dactylographier et à mettre en page le rapport.

Mener à bonne fin la recherche bibliographique était une tâche énorme et nous espérons que tout ce labeur améliorera la sécurité de ceux qui travaillent sur l'eau ou la survolent. Marianne Harvey était de grande assistance en trouvant des références à la bibliothèque de l'OMI à Londres, au Royaume-Uni. Les avis exprimés dans ce rapport n'engagent que l'auteur qui serait très heureux de recevoir vos commentaires soit par courrier électronique à chrisb@sstl.com, soit par la poste à l'adresse suivante :

Dr C.J. Brooks
Survival Systems Limited
40, avenue Mount Hope
Dartmouth, Nouvelle-Écosse
B2Y 4K9 Canada

Table of Contents

REMERCIEMENTS ..... (a)i
RÉSUMÉ 1
INTRODUCTION 5

CHAPITRE 1 : LE PROBLÈME 6
Noyade en eau froide : Comment et pourquoi cela se produit-il? 7
Connaissances physiologiques relatives à l'immersion jusqu'à 1995 9
Stade 1. Réaction initiale à l'immersion ou état de choc dû au froid 10
Stade 2. Immersion de courte durée ou épuisement à la nage 11
Stade 3. Immersion prolongée ou hypothermie 12
Équilibre thermique : notions de physique 12
Stade 4. Effondrement (collapsus) post sauvetage 17
Réactions initiales à l'immersion (stades 1 et 2) – Nouvelles données scientifiques recueillies depuis 1975 17
Capacité de retenir son souffle et de contrôler le rythme de sa respiration 20
Potentiel pour une arhythmie cardiaque 20
Dextérité manuelle 21

CHAPITRE 2 : COMMENT SE PROTÉGER DES QUATRE STADES DE L'IMMERSION EN EAU FROIDE 24
Études physiologiques menées en Europe et en Amérique du Nord 1939 - 1945 26
Études physiologiques menées en Europe et en Amérique du Nord 1945 – 1970 28
Essais de combinaisons d'immersion 1970 – 1980 31
1980 à 2002 : L'industrie d'exploitation pétrolière en mer a besoin de combinaisons d'immersion 34

CHAPITRE 3 : PRINCIPAUX PROBLÈMES MATÉRIELS DANS LA CONCEPTION ET L'ESSAI DES COMBINAISONS D'IMMERSION 38
Études des effets de l'infiltration d'eau : Pourquoi est-ce si important de rester au sec? 39
Pourquoi est-il si difficile de garder les doigts au chaud? 39
Pourquoi les combinaisons sèches sont-elles aussi inconfortables à porter en permanence? 41
Les effets du mouvement des vagues sur l'isolation des combinaisons d'immersion 41
Quel est le degré de flottaison admissible pour une combinaison destinée à l'équipage ou aux passagers d'hélicoptères? 42
Angle de flottaison 43
Mesure de l'isolation des vêtements 44

CHAPITRE 4 : PRINCIPAUX PROBLÈMES DE FABRICATION D'UNE COMBINAISON D'IMMERSION 48
Où en est notre technologie des combinaisons d'immersion en 2002? 49
Étanchéité à l'eau 49

CHAPITRE 5 : COMPATIBILITÉ ENTRE LA COMBINAISON D'IMMERSION ET LE GILET DE SAUVETAGE 60
Progrès réalisés au cours des 40 dernières années en matière de réglementation et de normalisation 64
Quelles ont été les conséquences de ces normes? 65
Quelle est la situation actuelle? 65
Résultats de la rencontre portant sur la technologie des gilets de sauvetage (Amsterdam, juin 2002) 66

CHAPITRE 6 : QUI DOIT-ON PROTÉGER ET QUELLE SERAIT LA RÉGLEMENTATION NÉCESSAIRE? 71
Qui doit on protéger? 72
Groupe I : Combinaison à port constant 0,25 clo ou 0,75 clo d'isolation? 72
Groupe II : Combinaisons flottantes en cas de naufrage 75
Groupe III : Combinaisons d'immersion intégrées pour passagers 77
Réglementation actuelle 79
RÉFÉRENCES 81

RÉSUMÉ

1. Il est assez étonnant qu'au cours des siècles, des centaines et des milliers d'êtres humains se sont noyés en eau froide et que c'est seulement depuis les 50 dernières années que l'on a commencé à prendre ce bilan au sérieux. Le décès était attribué à la noyage à cause d'une incapacité à demeurer à la surface de l'eau et était associé à des termes vagues comme l'exposition. Tout cela parce que le décès en mer était, et en quelque sorte est toujours, considéré comme un risque du métier. Les pêcheurs, par exemple, pour qui le risque est le plus élevé, croyaient simplement que c'était la fatalité. Toutes les tentatives de protection se résumaient à faire flotter la personne dans l'eau plutôt que sur l'eau.

2. Ce n'est que vers le milieu de la Seconde Guerre mondiale, en ce qui concerne le Royaume-Uni et l'Allemagne, et après la guerre de Corée, pour les États-Unis, que l'on a pris conscience qu'il y avait un problème lié à une immersion soudaine dans l'eau froide.

3. En conséquence, un peu partout dans le monde, beaucoup d'expériences ont été menées dans la dernière moitié du XX^{e} siècle pour étudier la physiologie humaine en eau froide. Les premiers travaux ont été effectués vers le milieu des années 1940 et 1950, mais dans les années 1960, il semble que le sujet a été relégué aux oubliettes et il a fallu tout reprendre à zéro. La naissance de l'industrie pétrolière en mer s'est traduite par une demande pour plus de recherche dans le but de créer de meilleures combinaisons d'immersion. Ce nouveau besoin a entraîné la multiplication des expériences dans les années 1980 et 1990. Un certain nombre de ces expériences sont présentées ci-après pour donner au lecteur un aperçu de leur étendue.

4. Même si les quatre stades dans lesquels le décès peut se produire dans une immersion accidentelle en eau froide étaient connus depuis la Seconde Guerre mondiale, le stade 1 (choc dû au froid) et le stade 2 (épuisement à la nage) étaient considérés comme ayant un intérêt purement théorique. Les organismes de réglementation, les établissements d'enseignement et les fabricants de combinaisons de survie ont donc concentré leurs efforts pour protéger les personnes contre l'hypothermie. De ce point de vue, ils ont bien rempli leur mission.

5. Même s'il existe des programmes de formation bien établis, de bonnes réglementations et du matériel de sauvetage amélioré, il reste toujours qu'il se produit près de 140 000 décès en mer chaque année. Ce qui a été négligé est l'importance comme cause de décès des deux premiers stades – le choc dû au froid et l'épuisement à la nage. La gravité de l'effet du choc dû au froid est directement proportionnelle à une température de l'eau oscillant entre 10 et 15 °C.

6. Les profanes et les enquêteurs d'accidents sont souvent étonnés d'apprendre que certaines personnes ne survivent pas à une immersion prolongée, même si elles se situent théoriquement dans les limites « sûres » des courbes prévisionnelles de survie actuelles. Ces personnes ne meurent pas d'hypothermie proprement dite, mais des suites de divers problèmes. Une hypothermie modérée suffit alors pour qu'elles perdent leur capacité physique et leur détermination mentale à se maintenir dos aux vagues. Elles avalent de l'eau à la prochaine vague et se noient malgré le gilet de sauvetage.

7. En ce qui concerne les combinaisons d'immersion, les Inuits ont utilisé des « peaux de printemps » pour se protéger contre une immersion rapide en eau froide dès qu'ils ont pris la mer. Depuis le milieu du XIX^{e} siècle, les navigateurs avaient à leur disposition des combinaisons grossières. Ce n'est qu'après 1945, qu'un effort concerté a été consenti pour produire une combinaison pratique et disponible dans le commerce. Entre les années 1950 et la fin des années 1970, les combinaisons ont fait l'objet de critiques en raison de leurs défauts de conception, du manque d'ajustement et d'étanchéité et des problèmes liés au contrôle de la qualité dans la fabrication. Ces vingt

dernières années, avec l'introduction de plusieurs normes, y compris la norme SOLAS 1983 de l'OMI, les tissus, les fermetures à glissière, la méthode d'inspection et l'étanchéité des combinaisons ont été améliorés ainsi que les procédures d'approbation.

8. Les principes fondamentaux de la conception et de la mise au point des combinaisons d'immersion sont analysés, particulièrement les exigences relatives à une combinaison sèche, la nécessité qu'elle soit intégrée au gilet de sauvetage, l'effet négatif très grave des infiltrations d'eau sur la valeur clo en état d'immersion, la difficulté de protéger les mains et les conséquences de l'utilisation de matériaux de mauvaise qualité et d'un mauvais contrôle de la qualité dans le processus de fabrication.

9. La technologie du mannequin thermosensible pour évaluer la protection thermique d'une combinaison d'immersion a énormement progressé dans les années 1980, puis elle a stagné surtout en raison de problèmes de financement. Même s'il y a des avantages et des inconvénients à utiliser un mannequin, la voie à suivre serait de mettre au point un mannequin simple qui permette de faire des essais thermiques conformément à une norme. Il faudrait utiliser des sujets humains seulement pour faire l'essai de nouveaux concepts et de modifications importantes apportées à des combinaisons déjà approuvées. Il faudrait plus de recherche pour préciser la contribution proportionnelle du torse, de la tête et des membres à l'équation thermique en vue de perfectionner la prochaine génération de mannequins.

10. Pour ce qui est des groupes de personnes qui devraient être visés et des règlements qu'il faudrait modifier ou élaborer, treize catégories professionnelles ont été désignées comme devant porter soit une combinaison à port constant (groupe I), soit une combinaison flottante en cas de naufrage (groupe II), soit une combinaison flottante pour passagers (groupe III). Il faudrait modifier les normes relatives aux combinaisons des groupes I et II, mais surtout, il faudrait élaborer des normes visant les personnes du groupe III (les passagers d'embarcations à voile naviguant dans des eaux plus froides que 15 °C). Au cours des deux prochaines années, Transports Canada devrait exiger qu'une combinaison de style marine à habillage rapide soit transportée à bord et, dans les cinq prochaines années, il faudra mettre au point une combinaison d'immersion intégrée pour passager.

11. En ce qui concerne les conseils pratiques visant la nécessité de réglementer le transport obligatoire de radeaux de sauvetage et de former à cette fin les exploitants de navires transportant des passagers,

a) dans la mesure du possible, il faudrait éviter l'immersion dans de l'eau plus froide que 15 °C. Le passager devrait pouvoir monter directement à bord du radeau de sauvetage;

b) Transports Canada devrait appliquer cette philosophie à la conception, à l'élaboration et à la mise en application par étapes de toute nouvelle loi. Tous les navires naviguant dans les eaux à 15 °C ou plus froides des lacs et des fleuves du Canada devraient transporter à bord des radeaux de sauvetage qui peuvent être facilement mis à l'eau et dans lesquels peuvent prendre place la totalité de l'équipage et des passagers;

c) la seule exception à cette règle serait le cas d'embarcations qui ne peuvent avoir à bord un radeau de sauvetage pour des raisons matérielles ou par manque d'espace. Dans de telles circonstances, les passagers doivent tous porter des gilets de sauvetage;

d) le fait de conduire un navire près de la côte ou en groupes ou d'avoir à bord une RLS ne justifie pas une exonération, car le choc dû au froid peut tuer en 3 à 5 minutes, l'épuisement à la nage en moins de 30 minutes et la noirceur, à elle seule, peut empêcher la personne de se sauver ou d'être rescapée;

e) le programme d'étude des fonctions d'urgence en mer doit être modifié afin d'y inclure deux nouveaux vidéos canadiens sur l'état de choc dû au froid, l'épuisement à la nage, l'hypothermie et l'effondrement post sauvetage.

12. Un gilet de sauvetage bien conçu et ajusté joue un rôle primordial dans l'effort de protéger l'être humain du choc dû au froid. Depuis 1945,

la mise en vigueur d'une réglementation a eu un effet considérable sur le nombre de noyades. Celles-ci se sont maintenues au plus bas niveau historique au Canada, soit à 1,2 par 100 000 habitants.

13. Malgré cette amélioration, il n'y a pas lieu de baisser la garde, car il reste encore beaucoup de travail à faire en ce qui concerne la nomenclature des dispositifs de flottaison (gilets de sauvetage par rapport aux VFI), les essais de redressement automatique et les exigences qui s'y rapportent, la coordination des nouvelles normes avec les normes de l'OMI/ISO/CEN et la question de la réglementation sur le port de dispositifs de flottaison dans le cas de petites embarcations avec passagers. Il faudrait aussi étudier davantage l'influence négative ou positive de la mode sur le port des gilets de sauvetage et des vêtements de flottaison individuels.

14. Si l'on décide d'élaborer de nouvelles normes sur les gilets de sauvetage (zone côtière et en mer) et les VFI (généralement d'utilisation personnelle et récréative), il faudrait coordonner les efforts, car ces deux types de dispositifs ont énormément de points communs. En outre, il est essentiel que le président du comité, de préférence, ou un représentant important de chaque comité, assiste aux réunions de l'autre comité et, en plus, aux réunions se déroulant au sein d'organismes internationaux comme l'OMI, l'ISO et le CEN. Si cet effort de coordination n'est pas consenti, il peut se produire une situation incongrue où des paramètres essentiels communs pourraient être interprétés de manière contradictoire.

15. Enfin, pour ceux qui seront chargés de mettre au point une combinaison d'immersion intégrée, il faudrait se rappeler que :

a) le contact avec l'eau est potentiellement très dangereux;

b) une combinaison sèche est essentielle pour assurer une protection aux quatre stades de l'immersion;

c) la pénétration d'aussi peu que un demi litre d'eau dans la combinaison réduit l'isolation de 30 %;

d) le degré d'isolation maximale pouvant être ajouté à une combinaison pour éviter une perte de chaleur et assurer un certain confort est de 4,5 clo dans l'air;

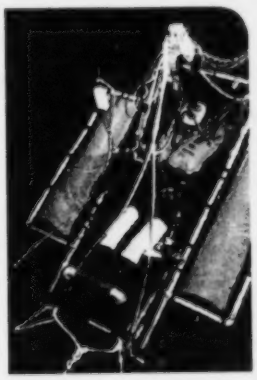
e) la protection des mains à long terme est un problème, mais qui n'est pas essentiel à la survie, pourvu que leurs fonctions soient maintenues pour des tâches cruciales;

f) les essais devraient se réaliser dans des conditions les plus réalistes possibles pour éviter que l'on soit déçu de la performance du produit final dans une situation de survie.

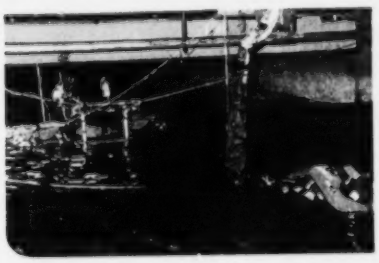
Frontispiece

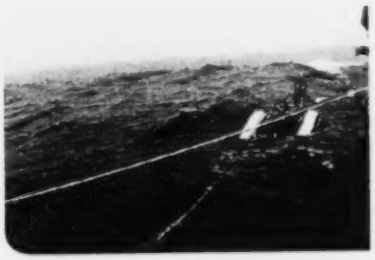
Expérience avec une combinaison d'immersion utilisant une technologie de pointe avec des sujets humains et un mannequin au laboratoire et en mer.

Disques de mesure du flux thermique appliqués sur la peau du sujet; sujet vêtu d'un sous-vêtement et disques appliqués par-dessus; sujet vêtu de la combinaison d'immersion et disques de mesure appliqués par-dessus.



Mannequin thermosensible préparé exactement de la même façon et prêt à être placé dans le berceau; mannequin placé dans le berceau avec l'angle d'inclinaison approprié.





Mannequin et sujet flottant dans la cuve à houle de l'Institut de dynamique marine du CNRC; mannequin placé dans le berceau et prêt à être mis à la mer; mannequin et sujet flottant dans une eau à 2 °C et dans des vagues de trois mètres de hauteur dans l'océan Atlantique au large d'Halifax, en Nouvelle-Écosse.

INTRODUCTION

Le présent rapport a été commandé par la Direction de la sécurité marine de Transports Canada pour traiter du problème de la survie en eau froide. Le rapport se subdivise en six chapitres : 1) brève introduction au problème; 2) physiologie de l'immersion en eau froide; 3) recherche menée sur la protection des personnes contre des dangers d'une immersion soudaine en eau froide; 4) conception et mise au point des actuelles combinaisons d'immersion; 5) compatibilité entre la combinaison d'immersion et le gilet de sauvetage; 6) examen des différents groupes de personnes qui travaillent ou pratiquent des activités de loisir sur l'eau ou qui la survolent et du type de protection dont ces groupes ont besoin.

Le rapport est conçu pour informer différentes catégories de personnes, par exemple, les anatomo-pathologistes ou les coroners qui doivent effectuer des autopsies et mener des enquêtes sur des victimes de noyade et les jeunes physiologistes qui commencent leur carrière en physiologie thermique, les fabricants de combinaisons d'immersion et les exploitants de navires qui doivent fournir à leur équipage des vêtements de protection, les médecins de bord et les inspecteurs de sécurité marine qui doivent comprendre les problèmes des dangers de l'eau froide ainsi que les capitaines de navires de pêche qui doivent aussi se sensibilier au problème et qui ne savent pas où s'adresser. Par conséquent, chaque chapitre est indépendant et peut se lire seul. Les personnes qui ne souhaitent avoir qu'un aperçu du sujet peuvent lire le résumé qui est présenté à la fin de chaque chapitre et puis, passer tout de suite au chapitre suivant. Ce rapport comprend également les grandes lignes du premier rapport de Transports Canada n° TP 13822F, publié en août 2001, qui portait précisément sur les nouvelles connaissances relatives au choc dû au froid et à l'épuisement à la nage.

LE PROBLÈME

CHAPITRE 1

Au Canada, des centaines de milliers de travailleurs ou de vacanciers se déplacent sur des voies navigables intérieures, des lacs et des rivières. De plus, des milliers de Canadiens gagnent leur vie en travaillant sur l'eau ou en la survolant. Selon les conditions climatiques locales, les déplacements ont lieu tout au cours de l'année ou sont limités à des périodes où les voies navigables sont exemptes de glace. Quoi qu'il en soit, pendant une bonne partie de l'année, surtout en hiver, au printemps et au début de l'été, l'eau est froide.

Récemment, en juin 2000, deux enfants se sont noyés par suite du naufrage du True North II, survenu en l'espace de deux minutes, dans la baie Georgienne (référence 162). Cet accident a suscité une réflexion sur les façons d'éviter d'autres tragédies de ce genre. Le port de gilets de sauvetage est déjà obligatoire. Y aurait-il lieu de modifier la réglementation? Au Canada, les embarcations ne doivent pas obligatoirement être munies de radeaux de sauvetage ou de combinaisons d'immersion lorsqu'elles circulent à proximité des berges, sur les voies navigables intérieures. Faudrait-il revoir cette politique? Toute éventuelle modification apportée à la politique relative au port de gilets de sauvetage ou à la présence de radeaux de sauvetage devrait-elle être liée à la température de l'eau au moment où l'embarcation circule? Enfin, les normes canadiennes visant les combinaisons d'immersion sont-elles adéquates et comment s'harmonisent-elles avec les normes sur les gilets de sauvetage et les normes internationales? Nous aborderons ces questions dans les chapitres qui suivent et y présenterons les conclusions de notre étude ainsi que des recommandations.

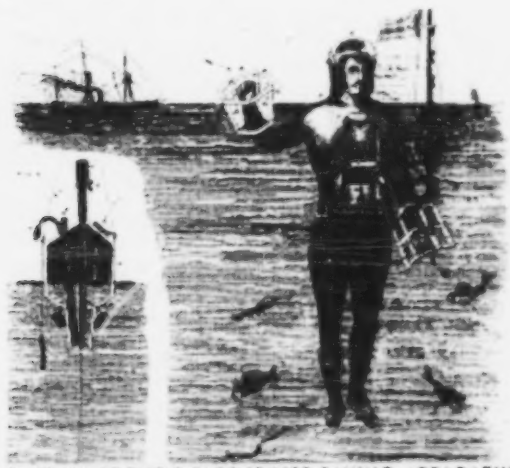
Noyade en eau froide : Comment et pourquoi cela se produit-il?

Les premiers comptes rendus de décès dus à l'immersion en eau froide remontent à l'Antiquité. Environ 450 ans avant Jésus-Christ, Hérodotus (référence 77) a fait le récit d'une expédition navale menée contre Athènes par le général perse, Mardonius. Il a nettement distingué la noyade de l'hypothermie lorsqu'il a affirmé que « Ceux qui ne savaient pas nager ont péri par noyade, d'autres sont morts de froid » (référence 56). Si les désastres maritimes se comptent par centaines de milliers, la cause médicale des décès a été rarement indiquée. En règle générale, le décès était imputé à la « noyade » ou au « fait d'être emporté par les flots ». Au XVIII^{e} et au XIX^{e} siècles, James Lind (1762) a fait état des risques d'effondrement consécutif à un sauvetage (référence 102) et James Currie (1797) a noté une détérioration de l'état de ses sujets avant une amélioration (référence 41).

Le décès en mer était considéré comme un risque du métier. Avant 1807, il n'était pas interdit par la loi de faire couler délibérément un navire et ce n'est qu'en 1815 que la Royal Navy a cessé de recourir au recrutement forcé. Ainsi, l'utilisation de dispositifs tels que des gilets de sauvetage, pouvant faciliter les évasions, n'était pas encouragée. Les marins naufragés devaient s'agripper à des épaves de bois et à des barils d'eau et de rhum (référence 29). Depuis des temps très anciens, les Inuits ont compris les dangers d'une immersion soudaine en eau froide. Ils utilisaient des combinaisons nommées « peaux de printemps », qui consistaient en une peau de phoque ou un intestin de phoque cousu ensemble pour former une tenue complètement imperméable qu'ils endossaient lorsqu'ils naviguaient dans le kayak (Vanggaard, 1988) (référence 168). Une version de cette combinaison est exposée au Danish National Museum (Willett, 1988), (référence 172) (Bricket-Smith, 1924), (référence 26). Cependant, ce concept n'a pas été adopté par les marins et les pêcheurs professionnels.

Très peu d'efforts de conception de combinaisons d'immersion ont été faits jusque vers le milieu du XIX^{e} siècle. Les seuls travaux sur du matériel de survie avaient été les premiers travaux du capitaine John Ross Ward qui a mis au point un gilet de sauvetage en 1851 pour la National Lifeboat Institution (référence 99). En 1869, le capitaine Stoner a inventé un vêtement de sauvetage qu'il a breveté et qui était très révolutionnaire pour l'époque. Il répondait à toutes les exigences fondamentales des temps modernes pour un vêtement de survie. Ce vêtement comportait une combinaison imperméable, un gilet de sauvetage, une protection pour la tête, un dispositif de signalement et des plaquettes pour les mains qui facilitaient les déplacements dans l'eau (figure 1) (référence 44).

Figure 1 : Vêtement de sauvetage breveté par le capitaine Stoner



Lee (1960) rapportait que : « Un vêtement de protection avait été apporté des États-Unis par Merriman vers 1870. Il consistait en une combinaison complètement imperméable dont la partie supérieure était gonflée d'air et qui protégeait le corps de la perte de chaleur; le visage était la seule partie du corps exposée. Lorsque la combinaison était gonflée, elle avait une flottabilité de 30 livres. La Chambre de commerce en a acheté un certain nombre en 1872 et en a doté chacun des postes d'embarcations de sauvetage » (référence 96). Avec l'apparition des premiers bateaux en fer aux alentours de 1850, non seulement les navires coulaient plus rapidement, mais les épaves pouvant servir à la flottaison étaient moins nombreuses, d'où une augmentation du nombre de pertes de vie en mer. En 1871, on avait rapporté que 2 740 marins britanniques avaient péri en mer par noyade (référence 29).

Aury (1955) écrivait que : « En 1875, le capitaine Boyton, qui portait un costume de bain gonflable, a tenté de traverser la Manche, en se propulsant à l'aide de pagaies et d'une petite voile. Après seize heures dans l'eau, il a dû abandonner. Dans une seconde tentative, deux mois plus tard, il a transporté avec lui des provisions, des fusées et une trompette et a réussi la traversée entre le cap Gris-Nez et Dover en 24 heures » (référence 12). Nul n'a porté attention aux observations faites par Lawrence Beesley (1912) (référence 20), survivant du Titanic, lorsqu'il a fait remarquer que les victimes portant des gilets de sauvetage et se trouvant dans des eaux calmes mais froides étaient mortes de froid. La cause officielle des décès a été la noyade. Même si le Comité international pour la sauvegarde de la vie humaine en mer (SOLAS) a été formé immédiatement après cet accident, aucune pensée n'a été consacrée à la protection personnelle. Tout le monde était obsédé par le fait de flotter dans l'eau et non pas sur l'eau. En 1912, M. Boddy a fait la démonstration de son gilet de sauvetage « Boddy » dans les eaux de la Manche au large de Cowes, mais ses efforts n'ont rien donné même si le gilet a été approuvé par le Board of Trade for Aviation (référence 1).

Après le naufrage de l'Empress of Ireland, en 1914, un certain M. Macdonald de Portland, en Oregon, a fait la démonstration de sa combinaison de survie en caoutchouc imperméable et de son gilet de sauvetage dans le port de Montréal, mais personne n'y a porté attention (référence 29). Pendant la Première Guerre mondiale, 12 000 marins de la marine marchande britannique et 5 354 officiers de marine et marins allemands se sont noyés et, encore une fois, personne ne s'est demandé pourquoi (Gilbert, 1994) (référence 50). Vers la fin de cette guerre, Walter Fry a mis au point une combinaison de sauvetage qui a été testée par la marine américaine en janvier 1918 au chantier maritime de la marine à Brooklyn, mais rien ne semble avoir abouti de cette tentative non plus (Hiscock, 1980) (référence 79). Finalement, la marine et la garde côtière américaines ont mis au point un vêtement de survie et de flottaison combiné pour les aviateurs. Le « Dreadnaught Safety Suit » était fait de tissu caoutchouté rembourré de kapok qui, selon les témoignages, avait été utilisé à la base aéronavale de Pensacola à l'hiver 1918–1919 (référence 29).

Après la Première Guerre mondiale, le British Merchant Advisory Committee s'est réuni en 1922 pour examiner différents dispositifs de sauvetage (référence 112). L'étude qu'il a fait des bilans des décès entre 1914 et 1922 a révélé que 10 024 (21 %) membres d'équipage et passagers de navires

[1]Dans l'ensemble du rapport, la flottabilité sera indiquée en livres impériales, en kilogrammes ou en newtons en fonction de l'année de l'essai et de la nomenclature actuelle. (1 kg = 2,2 lb = 9,8 newtons)

commerciaux avaient péri en mer. L'ensemble du rapport portait sur les multiples défaillances qui s'étaient produites pendant la mise à l'eau des radeaux de sauvetage. Une toute petite section a été consacrée à une simple expérience appliquée de physiologie en eau froide menée par Hill sur l'effet de vêtements sur l'assistant de laboratoire, M. Pergarde, qui était vêtu d'une blouse de laboratoire, d'un ciré et de cuissardes. Il a été exposé à des températures de l'eau inférieures à 16 °C. La conclusion significative a été que :

« les vêtements, qu'ils soient mouillés ou secs, protègent le corps d'un refroidissement et qu'en ajoutant une couche caoutchoutée par-dessus ces vêtements on obtient une meilleure protection contre le refroidissement ».

Malgré cela, personne n'a réagi à cet énoncé très juste et censé et aucune recommandation dictée par cette découverte n'apparaît dans ce gros rapport. L'observation a été citée en annexe seulement!

En 1928, le Vestris a sombré au large de la baie Chesapeake et 112 passagers et membres d'équipage ont péri. Le comité SOLAS a été reconvoqué mais il n'a fait aucune recommandation quant à la pour suite de la recherche sur les vêtements de protection personnelle. Le seul geste positif fait en 1928 a été d'utiliser un mannequin de tailleur pour tenter d'étudier la performance du gilet de sauvetage et des cirés de protection dans des eaux turbulentes. Cette mesure a été précipitée par la perte dans la Manche de 17 membres d'équipage d'une embarcation de sauvetage de Rye Harbour (référence 100). Jusqu'à la Seconde Guerre mondiale et pendant les dix années qui ont suivi, la tendance était d'améliorer la flottaison dans l'eau plutôt que sur l'eau à l'aide d'embarcations de sauvetage, de flotteurs de type Carey et de radeaux de types Balsa, Spanner ou Denton.

Ce sont les lacunes constatées dans les dispositifs de sauvetage pendant la bataille de l'Atlantique de la Seconde Guerre mondiale qui ont stimulé l'examen scientifique du problème. Les progrès dans la conception et la mise au point de combinaisons d'immersion seront analysés au chapitre 2.

Comme l'a fait remarquer Golden (1996) (référence 57), les enquêtes officielles destinées à prévenir la répétition d'autres événements fâcheux ont davantage tenté de faire la lumière sur les causes des désastres que sur les causes du décès des membres de l'équipage et des passagers. Le récent Rapport d'enquête sur accident maritime du Bureau de la sécurité des transports du Canada portant sur le naufrage du True North II, dans la baie Georgienne en juin 2000, compte 63 pages (référence 162). Seules cinq phrases font allusion au fait que deux élèves de septième année y ont perdu la vie. L'une des phrases indique de manière laconique que « ...Par la suite, les corps ont été examinés par le coroner qui a déterminé que les victimes ont péri noyées ». Nul ne s'est interrogé sur les raisons de leur noyade ni ne s'est même demandé si les victimes savaient nager. Ainsi, le financement et l'orientation de la recherche sur la physiologie et les facteurs humains sont loin d'avoir suivi les progrès technologiques de l'architecture navale.

Connaissances physiologiques relatives à l'immersion jusqu'à 1995

Le Medical Research Committee (référence 110) a publié en 1943 une brochure intitulée « The Guide to the Preservation of Life at Sea After Shipwreck » à la lumière des observations faites par les médecins de la marine ayant traité les survivants ainsi que des témoignages reçus de 279 survivants. C'est de ces éléments d'information que découle toute la recherche actuelle sur la physiologie.

Deux autres rapports publiés après la guerre allaient mettre au jour le nombre scandaleux de décès en mer qui auraient pu être évités. Dans le premier cas, il s'agissait du rapport Talbot (référence 147), paru en 1946, qui a fait ressortir les lacunes des ceintures de sauvetage de la RN et des flotteurs de type Carley. Plus de 30 000 hommes ont péri après avoir abandonné leur navire, autrement dit au cours de la phase de survie. Dans le deuxième cas, il s'agissait du rapport du Medical Research Committee réalisé par McCance et ses collaborateurs (1956) qui portait sur les risques auxquels étaient exposés les hommes à bord de navires perdus en mer de 1940 à 1944 et qui renfermait une analyse plus poussée des causes des décès en mer (référence 108).

Les premiers travaux importants sur la question ont été réalisés sous les auspices du Royal Navy Personnel Research Committee et, par la suite, du Royal Navy Institute of Naval Medicine. Les grandes lignes de ces études sont résumées dans la monographie du professeur Keatinge (1969) (référence 92). Il ressort nettement de ces travaux que l'être humain ne peut maintenir sa température interne lors d'une immersion dans une eau dont la température est inférieure à 25 °C, s'il est conscient et frissonne. La température corporelle chutera progressivement jusqu'à ce que le décès survienne. Or, en réalité, le problème est plus complexe.

Golden et Hervey (1981) (référence 56) distinguent quatre stades que traverse l'être humain immergé en eau froide avant de perdre ses moyens et de décéder. Ce qu'il importe surtout de signaler est que les stades 1, 2 et 4 étaient considérés comme ne présentant qu'un intérêt purement théorique, de sorte qu'ils ont eu peu d'incidence sur la politique relative à la survie, les règlements internationaux et les dispositifs de sauvetage. Les efforts ont essentiellement consisté à prédire l'installation de l'hypothermie et à trouver des façons de l'éviter. Autrement dit, on ne tient toujours pas compte, lors de la conception des dispositifs de secours, des effets physiologiques qui découlent des deux premiers stades de l'immersion en eau froide. Ainsi, les fusées sont encore emballées sous vide dans des sacs de polythène et elles n'ont simplement pas pu être utilisées lors du naufrage de l'Estonia, personne n'ayant la force de préhension ou la sensibilité tactile voulues pour ouvrir les sacs. L'écope qui se trouvait dans le radeau de sauvetage de l'Estonia était enveloppée dans du polythène et le survivant qui a tenté de percer le sac avec ses dents a dû y renoncer après avoir perdu plusieurs dents!! (Référence 43). Tous ceux qui travaillent ou pratiquent des sports nautiques sur l'eau ou qui la survolent, ceux qui conçoivent l'équipement de survie ainsi que les coroners et les pathologistes qui cherchent la cause des décès dans des accidents marins doivent connaître ces quatre stades.

Stade 1. Réaction initiale à l'immersion ou état de choc dû au froid

Au début de l'immersion, le sujet prend une profonde inspiration, ce qui multiplie par quatre le volume d'air dans ses poumons. Ce phénomène, appelé hyperventilation sévère, peut en soi entraîner de légers spasmes musculaires et la noyade. Parallèlement, on observe une augmentation marquée du rythme cardiaque et une élévation importante de la tension artérielle. Ces réactions cardiaques peuvent provoquer la mort, surtout chez les sujets âgés, moins bien portants. Ces effets durent pendant les deux ou trois premières minutes, précisément au stade critique de l'abandon du navire (Tipton, 1898) (référence 153), (Tipton et coll., 1994) (référence 157).

Il n'est pas rare qu'une personne décède à la suite d'un choc dû au froid. Chaque année, la presse canadienne rapporte régulièrement des exemples typiques de ce phénomène et démontre avec preuve à l'appui que le choc dû au froid tue.

Un adolescent se noie après un plongeon à l'heure du midi (Globe & Mail, 16 avril 1998)

Toronto – Un élève du secondaire de 14 ans s'est noyé hier après avoir plongé dans les eaux glacées du lac Ontario. Quelques heures après l'incident, la police ne sait toujours pas pourquoi Peter Arthur s'est aventuré dans l'eau, dont la température avoisinait alors les 4 degrés. Deux autres adolescents étaient avec lui à ce moment-là. Lorsque Peter n'a plus refait surface, ses amis ont demandé de l'aide à des ouvriers de la construction qui travaillaient à proximité, qui ont appelé la police. Dès leur arrivée sur les lieux, les policiers ont plongé dans le lac qui avait, à cet endroit, près de trois mètres et demi de profondeur, et ont recherché l'adolescent pendant 10 minutes, jusqu'à ce que l'eau glacée les force à regagner la berge, selon les explications du sergent McCann. Lorsque les deux policiers se sont assis sur des rochers à proximité, blottis dans des couvertures, des membres de l'unité marine de la police de Toronto sont arrivés et ont repris la recherche. En ratissant le périmètre avec un filet, ils ont trouvé l'adolescent qui, à ce moment-là, était resté dans l'eau pendant près de 30 minutes. Les pompiers ont pratiqué la réanimation cardiovasculaire jusqu'à l'arrivée des ambulanciers paramédicaux qui ont continué le traitement. Le décès de Peter a été prononcé à l'East General Hospital de Toronto à 12 h 55.

Un fêtard se noie après avoir tenté un bain de l'« ours polaire » (Globe & Mail, 3 janvier 2000)

Un homme qui célébrait la veille du Jour de l'An à une fête organisée sur un lac gelé s'est noyé lorsqu'il a plongé dans un trou pratiqué dans la glace. Adrian Weber, 38 ans, jouait au hockey avec 25 amis la veille du Jour de l'An sur le lac Kingsmere lorsqu'il a tenté de prendre un bain de l'ours polaire en nageant la distance de deux mètres séparant deux trous pratiqués dans la glace. M. Weber a plongé vers 1 h 30. Comme il ne refaisait pas surface, ses amis ont sauté dans l'eau mais ils ont été incapables de le retrouver. Ce sont les pompiers qui ont retrouvé le corps le samedi près de l'endroit où il avait plongé. « L'eau ne montait pas plus haut que la taille et il a essayé de nager entre les deux trous, » a raconté son frère de 44 ans, Christoph Weber. « Il a dû perdre son orientation ». « Ses amis ont plongé tout de suite après lui munis d'une corde et ont tenté de le retrouver. Ils ont conduit la voiture sur la glace et ont dirigé les phares sur le trou pour y voir un peu plus clair. Il faisait sombre et on n'y voyait pas grand chose. » Selon son frère, Adrian était en bonne santé et bon nageur.

Les espoirs s'estompent à Terre-Neuve de revoir les adolescents qui ont disparu dans l'océan à Pouch Cove (Mail Star Chronicle Herald, 9 mars 2001)

Des centaines de personnes s'étaient assemblées sur la grève de cette petite communauté côtière jeudi soir alors que l'espoir faiblissait de retrouver les trois adolescents emportés dans l'océan alors qu'ils jouaient sur des plaques de glace. La police a rapporté que quatre garçons entre 16 et 18 ans sautaient d'une plaque de glace à l'autre à près de 50 mètres de la rive lorsque l'un d'entre eux est tombé dans l'eau glacée et a glissé sous la glace. Ses camarades ont essayé de le sauver, mais deux d'entre eux ont été entraînés dans l'océan par une vague. Le quatrième a réussi à revenir au bord. Une femme, qui voulait garder l'anonymat, a dit que les gens qui se trouvaient sur la plage ont tenté de porter secours aux jeunes en leur lançant une corde. Elle a dit que l'un d'entre eux a tenté de saisir la corde, mais qu'il était trop faible pour s'y agripper suffisamment.

Stade 2. Immersion de courte durée ou épuisement à la nage

À ce stade, soit dans les trois à trente minutes qui suivent l'immersion, il semble que le décès se produise lorsque les victimes tentent de nager. Il est devenu évident qu'il faut accorder beaucoup plus d'attention à l'épuisement à la nage comme cause de mortalité. Il faut aussi comprendre que la capacité de nager en eau tiède n'influence en rien la capacité de nager en eau froide. Le témoignage classique entendu devant le coroner est le suivant : « Nous l'avons vu tomber par-dessus bord, il a commencé à nager et avant que nous ayons le temps de faire demi-tour pour essayer de voir à quel endroit il était tombé, nous l'avions perdu, il avait disparu. Comment cela se peut-il? Il était un excellent nageur. »

On a cru que le décès était attribuable à des réactions respiratoires et cardiovasculaires qui avaient déjà commencé à se manifester au début de l'immersion. Une autre théorie était que le contact entre l'eau froide et le nez et la bouche entraîne le « réflexe de plongée », d'où un arrêt de la respiration (apnée), un ralentissement du rythme cardiaque (bradycardie), voire un arrêt cardiaque (asystolie).

Ce ne sont pas des événements rares et ils sont couramment rapportés dans les journaux. Le plus récent d'entre eux s'est produit seulement quelques semaines avant que ce document ne soit mis sous presse.

Un triste début, deux accidents en une fin de semaine (Halifax Herald, 18 juin 1996)

À Chester Basin, une femme de 37 ans s'est noyée alors qu'elle tentait de traverser à la nage la rivière Gold pour se rendre à la marina Goldwater. Environ 40 personnes, y compris des membres de la GRC, les pompiers et le personnel de la garde côtière ont entrepris des recherches. Son corps a été retrouvé une heure plus tard.

Michelle Yetman prenait un bain de soleil avec une

amie un peu après 17 h lorsqu'elle a entendu des appels à l'aide venant de l'eau. « Au début,» a-t-elle dit, « je pensais que c'était juste des cris d'enfants qui jouaient dans l'eau. » Mais elle s'est ensuite rendue compte que ce n'était pas un jeu. « J'imagine qu'il avait dû perdre le souffle... donc, j'ai couru dans l'eau et j'ai nagé aussi vite que je le pouvais pour me rendre jusqu'à lui » a dit Michelle qui, incidemment, était une jeune secouriste. « L'eau était tellement froide, que j'avais l'impression de me frayer un chemin dans la glace. » Lorsqu'elle a atteint l'homme, elle a aidé la femme qui l'accompagnait, celle qui avait appelé à l'aide, à le maintenir au-dessus de l'eau jusqu'à ce qu'un autre secouriste arrive dans un canot. Elle a ensuite aidé à hisser l'homme à l'intérieur du canot, qui l'a ramené à la berge.

Un fils impuissant devant la mort de sa mère (Daily News, 5 juin 2002)

Un homme de Chester qui ne sait pas nager a vu, mardi, sa mère mourir dans les eaux glacées au large de l'île Quaker, Lunenburg Co. Kathleen Haase, 44 ans, et son fils Michael, 25 ans, avaient passé la journée à explorer une petite île verdoyante à 2 km au sud de Chester. Lorsque leur petit canot à moteur a commencé à dériver avec la marée, Kathleen Haase a essayé de le rattrapper à la nage. Elle savait nager, mais l'eau, mardi, était à environ 10 °C. Wayne et Geraldine Truck qui naviguaient près de l'île dans leur voilier de 11 mètres ont entendu les cris du fils qui appelait à l'aide. Wayne Truck a raconté, « Nous ne voyions aucune éclaboussure dans l'eau. » « Elle était sans aucun doute déjà morte. » Ils ont pu récupérer le canot à moteur qui dérivait et l'ont ramené à l'île lorsqu'ils ont découvert Kathleen Haase qui flottait le visage vers le bas dans une eau « très froide », à près de 50 mètres de la grève. Des équipes de sauvetage ont tenté de la ranimer sur le bateau et dans l'ambulance en direction de l'hôpital régional South Shore à Bridgewater. Mais elle n'a jamais repris conscience et on a prononcé son décès à l'hôpital.

Plusieurs points communs ressortent de ce genre d'accident :

- **les victimes savent nager;**
- **l'eau est froide;**
- **le décès s'est produit dans un intervalle de quelques minutes – beaucoup trop tôt pour que l'hypothermie ait eu le temps de s'installer;**
- **les victimes étaient toutes en bonne santé;**
- **l'accident s'est souvent produit en eau peu profonde;**
- **les accidents se sont produits à peu de distance de la berge.**

Le plus important, c'est que les secours étaient présents sur la scène de l'accident, mais que personne n'a reconnu le danger d'un décès soudain par un choc dû au froid dans le cas d'une personne en santé. C'est exactement pourquoi il ne faut pas assouplir les normes relatives au port de gilets de sauvetage et/ou transport de radeaux de sauvetage lorsqu'il est question d'activités se déroulant en eau froide. La présence à bord d'une RLS (avec un temps d'intervention entre 90 minutes et 2 heures) et le fait que le bateau navigue en groupe ou près de la rive n'est pas une raison d'exonération.

Le message clair est qu'une entrée soudaine dans l'eau froide sans protection est très dangereuse et devrait être évitée dans la mesure du possible. Cela s'applique à tout le monde, que ce soit des exploitants de bateaux commerciaux ou des adeptes de sports nautiques.

Stade 3. Immersion prolongée ou hypothermie

Équilibre thermique : notions de physique

Pour comprendre la cause de l'hypothermie, il est important de comprendre les notions de physique expliquant l'équilibre thermique chez l'humain.

La chaleur circule sous l'influence d'un gradient de température entre les points chauds et les points froids du corps. Ainsi, par temps froid, un gradient de température est établi, le long duquel circule la chaleur à partir des tissus profonds plus chauds vers les tissus plus froids de la surface du corps. La chaleur s'échappe alors du corps vers l'extérieur. Dans des conditions ambiantes normales, les échanges de chaleur entre le corps et le milieu

ambiant obéissent à quatre mécanismes physiques : le rayonnement (R), la convection (C), la conduction (K) et l'évaporation (E).

R (Rayonnement). Tout objet qui contient de la chaleur, y compris le corps humain, émet un rayonnement thermique depuis sa surface.

C (Convection). Ce processus désigne le transfert de chaleur entre l'organisme et le milieu ambiant occasionné par le mouvement de molécules d'air ou d'eau au voisinage de la peau et leur remplacement par des molécules plus froides.

K (Conduction). Ce terme s'applique au transfert de la chaleur entre la peau et les surfaces avec lesquelles elle est directement en contact.

E (Évaporation). L'évaporation est le processus par lequel un liquide passe à l'état gazeux sous l'effet d'un apport d'énergie. La chaleur à ce processus est extraite de la surface de l'objet sur lequel l'évaporation se produit et celui-ci se refroidit.

Pour que la température corporelle demeure stable lorsque la température ambiante est basse, la chaleur dégagée par le corps au repos ou par l'exercice ou le frisson (M) doit correspondre à la perte de chaleur par les mécanismes R, C, K et E ou par une combinaison de ceux-ci, R+C+K+E=M.

Plusieurs facteurs influencent la quantité de chaleur transférée par R,C,K et E. Les plus communs sont : la surface de contact où se produit le transfert de chaleur; le gradient de température entre l'organisme et le milieu ambiant et le mouvement relatif du fluide (air ou eau) dans lequel se trouve l'organisme. Ceci explique pourquoi une personne se refroidira plus vite si elle se trouve dans une eau froide (gradient), si elle est partiellement plutôt que complètement immergée (surface), si elle se trouve dans une eau agitée plutôt que calme (mouvement du fluide), si elle se déplace ou demeure immobile (mouvement relatif du fluide).

Dans l'eau, la chaleur est dirigée vers les molécules d'eau en contact avec la peau (« couche limite »), ces molécules sont réchauffées et montent (convection), et sont remplacées par des molécules plus froides. Ainsi, dans l'eau seulement deux des quatre principaux mécanismes de transfert de la chaleur peuvent être à l'œuvre et la déperdition de chaleur se fait essentiellement par convection et par conduction. Malgré tout, la température d'une personne nue se trouvant dans l'eau froide chutera environ quatre fois plus rapidement que si elle se trouvait dans l'air, à la même température ambiante. Cela tient au fait que la conductivité thermique de l'eau est 25 fois supérieure à celle de l'air et sa capacité calorifique (capacité thermique spécifique par volume) est d'environ 3 500 fois supérieure à celle de l'air. Par conséquent, l'eau parvient beaucoup mieux à extraire la chaleur du corps. (La capacité calorifique s'obtient en multipliant la chaleur spécifique d'une substance par sa densité. Cela représente la quantité de chaleur nécessaire pour élever la température d'un volume donné d'eau de 1 °K. À 37 °C, la capacité calorifique de l'eau est 3 431 fois supérieure à celle de l'air.) En outre, dans l'eau, contrairement à ce que l'on observe dans l'air, la surface où se fait le transfert de chaleur vers le milieu ambiant est presque de 100 %. C'est pourquoi l'eau froide est si dangereuse. Suivant la même logique, l'eau chaude est un très bon moyen de réchauffer les victimes d'hypothermie.

Au bout de trente minutes d'immersion ou plus, l'hypothermie peut provoquer la mort. Ce phénomène tient au fait que la chaleur spécifique de l'eau est 1 000 fois supérieure à celle de l'air et sa conductivité thermique est environ 25 fois supérieure à celle de l'air. Ainsi, lorsqu'un corps est immergé dans une eau à une température inférieure à la température corporelle (37 °C), l'organisme se met en hypothermie (abaissement de la température) à un rythme lié à plusieurs facteurs :

- l'écart de température
- l'isolation assurée par les vêtements
- le rythme d'agitation de l'eau
- la production de chaleur par le corps par les frissons et l'exercice
- le rapport entre la masse corporelle et la surface de contact
- l'épaisseur du tissu adipeux sous-cutané
- la condition physique
- l'alimentation du sujet avant l'immersion
- le comportement physique et posture corporelle dans l'eau

Lorsque la température interne du corps chute, le

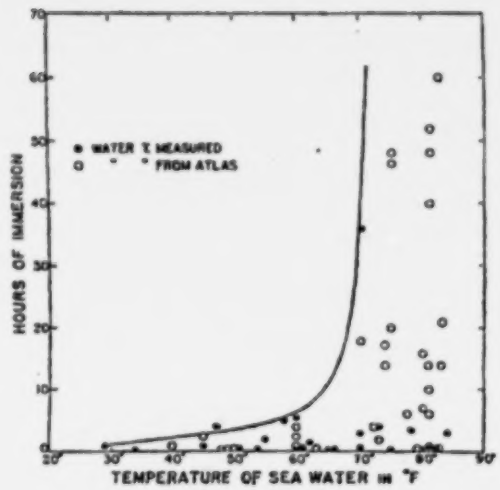
sujet devient inconscient. Deux facteurs peuvent entraîner le décès – la noyade due à la perte de la capacité à réagir et l'arrêt cardiaque. Le décès consécutif à la noyade chez la personne légèrement vêtue, même munie d'une veste de sauvetage, survient environ une heure après l'immersion dans une eau à 5 °C ou deux heures après l'immersion si la température de l'eau est de 10 °C ou en l'espace de six heures ou moins si la température est de 15 °C (référence 57).

Si la température interne du corps continue de baisser, le décès survient généralement par suite d'un arrêt cardiaque lorsque la température corporelle chute en deçà de 24 °C. La plus basse température de survie jamais enregistrée chez une personne victime d'une hypothermie accidentelle est de 13,7 °C (référence 51). Cependant, après une hypothermie provoquée lors d'une intervention chirurgicale, on signale un cas de réanimation chez un sujet dont la température interne était de 9 °C (référence 122).

La première courbe classique de survie a été publiée par Molnar en 1946 (figure 2, référence 115). Elle intègre les données recueillies auprès des prisonniers de Dachau (référence 4). D'autres courbes ont été ultérieurement réalisées par Hall (1972) (référence 65) ainsi que par la Société canadienne de la Croix-Rouge, à la lumière des travaux menés par le professeur Hayward (1975, 1977, 1984) de l'Université de Victoria (figure 3, références 69, 70, 71 et 73).

Hayes et ses collaborateurs (1987) ont, par la suite, publié une courbe prévisionnelle de survie en se fondant sur le modèle de survie en eau froide du professeur Eugene Wissler (figure 4) (référence 67). S'inspirant de ces prévisions et de travaux antérieurs, Tikuisis (1995, 1997) a publié les plus récentes prévisions de la durée de la survie en mer à partir des rythmes de refroidissement corporel observés (références 149 et 150).

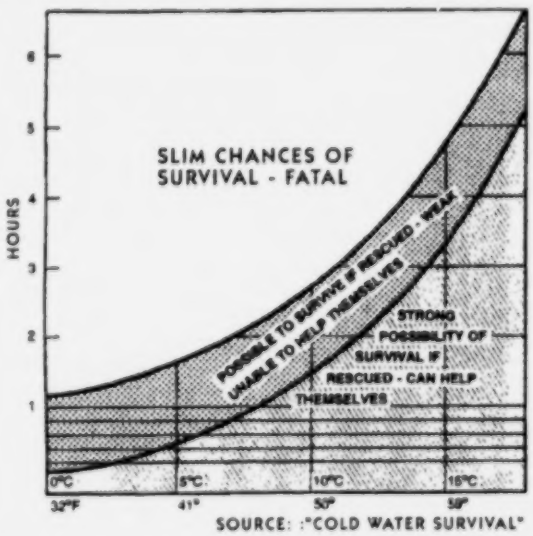
Figure 2 (d'après Molnar 1946) – Durée d'immersion des survivants de naufrages dans des eaux océaniques de températures diverses.



(Les pastilles noires renvoient à la température de l'eau de mer tirée du World Atlas of Sea Surface Temperatures, selon la date et le lieu du naufrage ou du sauvetage. Chaque point indique l'existence d'au moins un survivant.)

Hours of immersion = **Durée d'immersion**
Water T. Measured = **Température de l'eau mesurée**
From Atlas = **Température de l'eau tirée de l'Atlas**
Temperature of sea water = **Température de l'eau de mer en °F.**

Figure 3 – **Survie en eau froide** (Croix-Rouge canadienne)

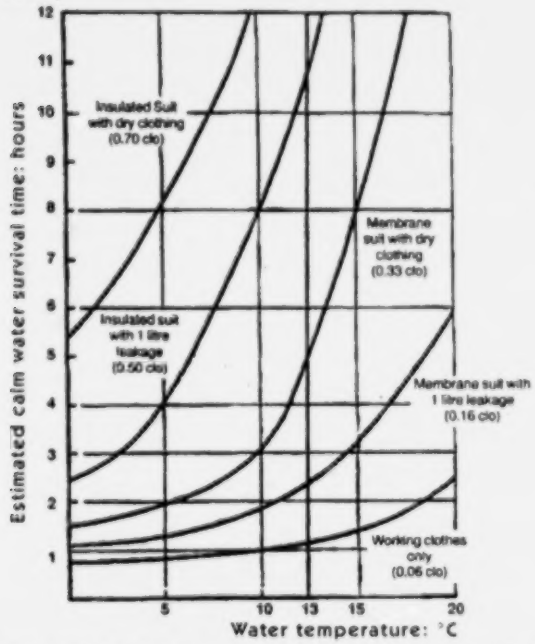


Cold Water Survival = **Survie en eau froide**

Hours = Durée d'immersion (heures)
Slim chances..= Les chances de survie sont minces – décès
Possible to Survive = La victime survivra peut-être si on lui porte secours; elle est faible et ne peut généralement pas s'aider elle-même
Strong possibility = La victime a de fortes chances de survivre si elle est secourue; elle peut généralement s'aider elle-même

Source : Survie en eau froide, La Société canadienne de la Croix-Rouge

Figure 4: Estimation de la durée de survie contre température de la mer pour différents niveaux d'isolation avec des vêtements en état d'immersion (d'après le modèle de Wissler, modifié par Hayes, 1987).



Estimated Calm Water survival... = Estimation de la durée de survie en eau calme : heures
Insulated Suit with dry clothing... = Combinaison doublée avec sous-vêtements secs (0,70 clo)
Membrane suit with dry... = Combinaison légère avec sous-vêtements secs (0,33 clo)
Insulated suit with 1 litre leakage = Combinaison doublée avec infiltration d'un litre d'eau (0,50 clo)
Membrane suit with 1 litre leakage = Combinaison légère avec infiltration d'un litre d'eau (0,16 clo)
Working clothes = Vêtements de travail uniquement (0,06 clo)
Water temperature = Température de l'eau en degrés celcius

Les travaux d'Oakley et de Pethybridge (1997) (figure 5) (référence 126) contiennent un résumé des courbes prévisionnelles actuelles. Ils ont permis d'établir que l'on pouvait prolonger la durée de survie si le survivant demeurait immobile dans l'eau au lieu de tenter de nager pour conserver sa chaleur. De plus, l'adoption d'une position fœtale, les jambes serrées et les bras le long du corps ou croisés sur la poitrine, contribue à accroître la durée de survie (références 5, 53, 71, 89 et 125). Ces courbes prévisionnelles reposent toutes sur la prémisse que la personne qui utilise ces prévisions est disposée à admettre l'hypothèse que le décès est attribuable à l'hypothermie. Elles sont toutes fondées sur le délai qui précède la perte de sa capacité à réagir.

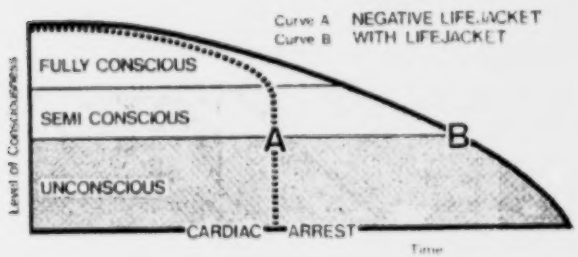
Figure 5 : Estimation du nombre de périodes d'immersion (en heures) à différentes températures qui devraient entraîner « vraisemblablement un décès ». (D'après Oakley et Pethybridge (1997)

Temp. de l'eau	Molnar, 1946 (référence 115)	Keatinge, 1969 (référence 92)	Nunnely et Wissler 1980	Allan, 1983 (référence 5)	Lee et Lee, 1989
5 °C	2,3	0,9	1,1	1,5	1
10 °C	4	S.O.	2,6	2,5	3
15 °C	S.O.	4,5	3	9	7

Si la personne immergée a survécu au deux premiers stades de l'immersion, c'est-à-dire le choc dû au froid et l'épuisement à la nage, le dernier obstacle à franchir est l'hypothermie. On sait maintenant que l'hypothermie pourrait ne pas être la cause du décès. Ces courbes doivent être utilisées avec prudence. Comme le signalait Golden en 1996 (référence 57), les courbes prévisionnelles de survie de 50 % pour des personnes entièrement habillées dans l'eau et portant des gilets de sauvetage est de

une heure à 5 °C, de deux heures à 10 °C et de six heures à 15 °C. Toutefois, ces chiffres sont difficiles à valider en laboratoire où la température du corps ne peut descendre que de deux à trois degrés au cours d'une période équivalente. Il doit y avoir une autre cause du décès. Golden a expliqué qu'un survivant conscient dans l'eau de mer doit faire l'effort physique de se garder dos aux vagues, mais lorsqu'il devient faible physiquement par le refroidissement des muscles, dans un état de semi-conscience et que son instinct de survie faiblit, ce qui peut se produire lorsque la température corporelle centrale baisse d'environ 2 à 3 °C, la victime se tourne face aux vagues et se noie. Il a également fait ressortir le point que le décès par noyade se produira beaucoup plus vite si la victime ne porte pas de gilet de sauvetage (figure 6) (référence 54).

Figure 6 : Courbe empirique établissant la corrélation entre la détérioration de l'état de conscience et la durée d'immersion d'un corps avec (B) et sans (A) gilet de sauvetage. Courtoisie du professeur Frank Golden



Level of Consciousness = Degré de conscience
Curve A NEGATIVE LIFEJACKET = Courbe A Sans gilet de sauvetage
Curve B WITH LIFEJACKET = Courbe B Avec gilet de sauvetage
FULLY CONSCIOUS = Pleinement conscient
SEMI CONSCIOUS = Demi-conscient
UNCONSCIOUS = Inconscient
CARDIAC ARREST = Arrêt cardiaque
Time = Durée

Markle (1991) donne plusieurs exemples classiques de mort par hypothermie dans de l'eau à une température inférieure à 15 °C dans son rapport de la garde côtière américaine sur les dispositifs de sauvetage pour de petits bateaux de passagers (référence 106).

COMET, mai 1973

Le COMET avait 27 personnes à bord lorsqu'il a coulé dans le Block Island Sound, au Rhode Island, environ sept milles au large des côtes dans une eau à 48 °F [9 °C]. Le COMET n'avait pas de RLS à bord et le seul dispositif de sauvetage était un engin flottant pour 20 personnes. Près de 15 survivants s'étaient tenus après l'engin flottant et deux ou trois sont montés à bord d'un canot pneumatique inondé pour se rendre jusqu'à l'engin flottant. Six autres ont pu s'agripper à une épave flottante de 8 pi sur 10 pi. Presque tout le monde à bord portait un gilet de sauvetage au moment de l'abandon du navire. Les deux ou trois personnes qui n'ont pas pu revêtir le gilet de sauvetage ont pu utiliser soit l'engin flottant soit l'épave. Le premier décès s'est produit dans le canot pneumatique environ une demi-heure après le naufrage. Les décès ont continué jusqu'à ce que les secouristes arrivent sur les lieux de l'accident quatre heures plus tard. Au total, 16 personnes sont mortes pendant cet intervalle.

JOAN LA RIE III, octobre 1982

Le JOAN LA RIE III avait 22 personnes à bord et a coulé environ huit milles au large des côtes du New Jersey dans une eau à 53 °F [11,6 °C]. Les dispositifs de sauvetage existants étaient un engin flottant pour sept personnes et un flotteur de sauvetage pour 15 personnes. La plupart des passagers se reposaient dans la cabine lorsque le navire a été frappé par une fausse lame, a gîté et a commencé à s'inonder. Deux personnes sont manquantes à la suite de cet accident. Elles se sont peut-être noyées dans la cabine. Les 20 personnes restantes ont pu s'échapper à la mer, mais personne n'a réussi à endosser un gilet de sauvetage. Selon toute apparence, toutes les victimes sauf deux ont réussi à se rendre au flotteur de sauvetage et à l'engin flottant, qui étaient attachés ensemble. Les deux autres personnes sont mortes. Parmi les 18 victimes qui ont réussi à atteindre le flotteur de sauvetage et l'engin flottant, 14 ont survécu et quatre sont mortes dans les

90 minutes qu'ont pris les secouristes pour se rendre sur les lieux.

L'argument selon lequel les radeaux de sauvetage ne sont pas nécessaires parce que les navires qui naviguent près des côtes le jour peuvent s'attendre à être secourus rapidement par d'autres navires n'est pas valable, ni celui que le fait d'avoir à bord une RLS qui devrait accélérer l'arrivée des secouristes. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, le décès se produira entre 3 et 5 minutes pour ceux qui n'ont pas enfilé un gilet de sauvetage ou par suite d'épuisement à la nage dans les 30 minutes si les personnes ne sont pas habillées adéquatement et n'endossent pas de gilet de sauvetage. Markle (1991) est arrivé exactement à la même conclusion.

Stade 4. Effondrement (collapsus) post sauvetage

Jusqu'à vingt pour cent des décès attribuables à une immersion surviennent au cours de la sortie de l'eau, ou dans les heures qui suivent le sauvetage (référence 57). Ce fait a été constaté pour la première fois en 1875 par Reinke, un médecin rattaché à la police de Hambourg. Celui-ci a consigné les cas de marins qui étaient tombés dans les canaux et dans le port et qui étaient décédés dans les 24 heures suivant leur sauvetage (référence 55). Au cours de la Seconde Guerre mondiale, les Allemands et les Alliés ont observé que certains de ceux qui étaient encore en vie au moment du sauvetage sont décédés peu après. Matthes (référence 109) a décrit le cas de membres d'un équipage aérien repêché, qui avaient été conscients dans l'eau et avaient participé à leur propre sauvetage, qui se sont évanouis et sont décédés peu de temps après. McCance et ses collaborateurs (1956) (référence 42) ont constaté que dix-sept pour cent des survivants de naufrages se trouvant dans une eau à 10 °C ou moins décédaient dans les 24 heures suivant le sauvetage. Aucun des rescapés qui s'étaient trouvé dans une eau à plus de 20 °C n'a perdu la vie.

Lorsque le traversier Wahine a coulé, en 1969, dans le port de Wellington, Mercer (référence 113) a remarqué que douze des 51 personnes décédées étaient en vie au moment du sauvetage, mais sont mortes peu après. Dans l'accident de l'Estonia, en 1994, on a signalé qu'au moins une personne qui était en vie alors qu'elle était dans l'eau, s'est évanouie au moment du sauvetage par hélicoptère, est retombée à l'eau et a perdu la vie. Les articles de Golden sur les naufrages et la survie (référence 55) et l'article de Hervey sur chute secondaire de température (« after-drop ») et le décès consécutif à un sauvetage chez les victimes d'une immersion en eau froide rendent compte d'un nombre imposant de cas d'effondrements post sauvetage (référence 53).

Réactions initiales à l'immersion (stades 1 et 2) – Nouvelles données scientifiques recueillies depuis 1975

Il ne fait plus de doute, maintenant, que plus de la moitié des décès consécutifs à une immersion surviennent lors des deux premiers stades de l'immersion, soit à cause d'un choc dû au froid et d'un épuisement à la nage. Toutefois, comme nous l'avons déjà signalé, les enquêteurs persistent à mettre l'accent sur la cause de l'accident maritime et non sur la cause précise du décès d'une personne. Il est encore difficile d'obtenir des renseignements précis sur le stade où s'est produit un décès consécutif à une immersion, ce qui tient au fait que peu de témoignages ont été recueillis auprès des survivants ou par les enquêteurs. On ne peut que présumer, dans une certaine mesure, de la cause d'un décès à partir d'un compte rendu paru dans les journaux ou des rares informations fournies dans les rapports d'enquête sur les accidents. Ce qui vient compliquer les choses, c'est que les efforts de sensibilisation de la population aux dangers liés à l'immersion en eau froide et à l'hypothermie ont été à ce point couronnés de succès que même les anatomo-pathologistes indiquent maintenant l'hypothermie comme cause du décès même si les personnes qu'ils ont autopsiées sont en fait décédées des suites d'un choc dû au froid ou d'un épuisement à la nage et de la noyade.

Si le choc dû au froid ou l'augmentation du rythme de la respiration au contact de l'eau froide, est un phénomène connu depuis de nombreuses années (Falk, 1884) (référence 45), ce n'est qu'au cours des 20 dernières années qu'on a engagé une véritable réflexion sur l'importance concrète du phénomène.

Lorsqu'on s'interroge sur la température de l'eau à laquelle il faudrait assurer une protection contre les réactions initiales à l'immersion en eau froide, on sait maintenant que l'état de choc dû au froid commence à se faire sentir lorsque la température de l'eau est inférieure à 25 °C (référence 90) et qu'il culmine à une température variant entre 10 et 15 °C (références 154 et 155). Il s'agit là d'un des éléments qui expliquent les décès qui surviennent dans des eaux à 15 °C bien avant le moment où le prévoient les courbes conventionnelles de survie. Nombreux sont ceux qui pensent maintenant que le danger pressant qui guette des individus par ailleurs bien portants est la détresse respiratoire induite par l'immersion et, par conséquent, leur incapacité à contrôler leur respiration et à retenir leur souffle.

Le fait de nager a des répercussions considérables sur le rythme de refroidissement du corps et peut l'augmenter de 30 à 40 % (référence 92). Tipton et coll. (1999) (référence 160) ont étudié la détérioration de la capacité de nager après que les sujets se sont adaptés au changement de rythme respiratoire consécutif au choc dû au froid du stade 1. Tous les dix bons nageurs ont nagé pendant 90 minutes dans une eau à 25 °C; huit d'entre eux ont terminé leur distance de nage dans une eau à 18 °C. Dans une eau à 10 °C, cinq nageurs ont nagé pendant 90 minutes, quatre d'entre eux ont été retirés de l'eau entre 22 et 50 minutes, presque en état d'épuisement à la nage, et l'un d'eux a été retiré à 61 minutes, près de l'épuisement. Pendant toutes ces périodes de natation, le rythme et la longueur des brasses sont demeurés semblables dans l'eau à 25 °C et à 18 °C, mais dans l'eau à 10 °C le rythme des brasses s'est accru et leur longueur a diminué. Ces changements se sont surtout accentués chez les personnes qui étaient près de l'épuisement. La longueur des brasses a diminué de la moitié au cours des 30 dernières minutes pour un nageur qui a atteint le seuil d'épuisement en 61 minutes.

Simultanément, l'angle moyen de natation est passé d'une moyenne de 18° au début de la période à 24° à la fin de celle-ci. Le nageur qui a atteint le seuil d'épuisement a terminé avec un angle de natation de 35°. Après 15 à 30 minutes dans l'eau froide à 10 °C, les doigts des nageurs se sont écartés et ont commencé à se relever. À la fin des périodes de natation, les nageurs ont rapporté qu'il était devenu de plus en plus difficile à étirer leurs membres et à coordonner leurs mouvements. La force de préhension n'a pas été diminuée par la nage dans une eau à 25 °C, mais dans l'eau à 18 et à 10 °C, elle s'est considérablement affaiblie de 11 % et de 26 %, respectivement.

Wallingford et coll. (2000) (référence 170) ont étudié les facteurs qui limitent la distance de natation en eau froide lorsque la personne porte un vêtement de flottaison individuel. Cinq femmes et douze hommes ont participé à une épreuve de nage dans de l'eau à 14 °C. Les sujets ont nagé en moyenne 889 mètres avant d'atteindre le point d'épuisement à la nage. Aucune corrélation n'a été établie entre la distance nagée et le pourcentage de gras du corps, la capacité aérobique et l'épaisseur du pli cutané abdominal. Cependant, les personnes qui ont nagé la plus grande distance avaient une épaisseur du pli du triceps beaucoup plus grande.

Wallingford et coll. étaient d'accord avec la conclusion de Giesbreicht (1995) (référence 49) selon laquelle la majeure partie de la baisse de performance du bras était attribuable à un refroidissement local du tissu du bras et non à l'hypothermie. L'étude de Wallingford allait à l'encontre de l'hypothèse formulée par Hayward et coll. (1975) (référence 70) selon laquelle l'hypothermie pouvait être responsable de l'incapacité à nager en eau froide lorsque le nageur porte un vêtement de flottaison individuel. Si l'hypothèse de Hayward s'était avérée exacte, les nageurs auraient nagé sur une distance de 2 058 mètres avant de perdre leur capacité à nager. Cela représente plus du double de la distance de 889 mètres couverte par les sujets, soit très longtemps avant l'installation de l'hypothermie (température centrale moyenne de 35,8 °C).

Markle (1991) (référence 106) a judicieusement fait remarquer que les personnes qui s'étaient trouvées dans l'eau avec ou sans matériel de sauvetage sont mortes beaucoup plus rapidement que ne l'indiquaient les courbes prévisionnelles de survie. Cette constatation appuie la théorie de Golden selon laquelle de nombreuses victimes se noient aux stades précoces de l'immersion, soit à cause du choc dû au froid et de l'épuisement à la nage, et non d'hypothermie comme telle. Même si elles sur-

vivent assez longtemps au froid, la perte de capacité des muscles attribuable au froid peut empêcher la victime de se maintenir dos aux vagues et, par conséquent, de conserver ses cavités oronasales à l'extérieur de l'eau, ce qui se produit parfois après une chute de température corporelle de 2 à 3 °C. C'est pourquoi il est essentiel, pour se protéger contre l'hypothermie, de porter un gilet de sauvetage ayant de bonnes caractéristiques de maintien en mer, c.-à-d. le redressement automatique, une bonne hauteur de franc bord et un écran facial.

Markle concluait que « les exigences actuelles relatives aux gilets de sauvetage, aux flotteurs de sauvetage et aux engins flottants se sont révélées adéquates dans tous les cas d'accidents étudiés où la température de l'eau était de 15 °C ou moins ». Cela a peut-être été le cas pour cette étude, mais il est toujours possible de mourir d'hypothermie et d'effondrement post sauvetage comme cela s'est produit avec le naufrage du Lakonia en 1965 au large de Madère dans une eau à 17,9 °C (référence 91).

La fourniture d'un engin flottant auquel le survivant s'accroche à l'aide d'un tire-veilles le corps immergé jusqu'au cou dans une eau plus froide que 15 °C n'est qu'une solution de dernier recours si tout le reste n'a pas fonctionné. On se noie très probablement d'un choc dû au froid et d'épuisement à la nage, à court terme, et d'hypothermie et d'effondrement post-sauvetage, à long terme. Plus l'eau est froide, plus grandes sont les chances de décès. Encore une fois, comme Markle le signalait clairement, dans le cas de l'accident du Cougar, les deux personnes qui ont réussi à se hisser dans un engin flottant ont été les deux seules à ne pas être hospitalisées. Les autres qui sont demeurées dans l'eau à 13 °C agrippées à l'engin, sont mortes. De même, dans un autre cas signalé par Markle (accident du Zephyr II), si le dispositif avait été un radeau de sauvetage au lieu d'un engin flottant, la personne n'ayant pas pu revêtir le gilet de sauvetage aurait pu monter à bord et aurait survécu aux quelques minutes passées dans l'eau. Dans cet accident, huit des survivants ont été séparés du bateau. Ils ont décidé de nager jusqu'à une île, un seul était encore vivant six heures plus tard, alors qu'il a appelé à l'aide à peu de distance de la berge.

Cas typique où le décès a été attribué à tort à l'hypothermie

Paradoxalement, comme nous l'avons mentionné plus haut, beaucoup de travail a été fait en matière d'éducation du public à propos de l'hypothermie. En conséquence, les secouristes locaux, les policiers, la Croix-Rouge, les coroners et les anatomo-pathologistes présument toujours qu'un corps repêché dans l'eau froide s'est noyé à cause de l'hypothermie, même si, bien souvent, ce n'est pas le cas. Comme cette hypothèse a été énoncée, on a approfondi la question pour trouver précisément comment, où et quand la victime a réellement perdu la vie. En février 1982, la plate-forme Ocean Ranger a coulé dans des eaux près du point de congélation des Grands Bancs de Terre-Neuve avec la disparition de toutes les 84 personnes qui y travaillaient. Aucune d'elles n'était revêtue d'une combinaison de survie et quelques-unes portaient des gilets de sauvetage. On a attribué les décès à la noyade par hypothermie, même si quelques témoins ont dit que beaucoup de personnes sont mortes après seulement quelques minutes d'immersion dans l'eau.

Voici le témoignage du capitaine du Seaforth Highlander (référence 118).

C'est à ce moment, que l'embarcation de sauvetage a commencé à chavirer à bâbord, très lentement, comme s'il s'agissait d'un film au ralenti. Les hommes qui se tenaient debout sur le radeau ont été projetés à la mer. Le radeau est demeuré renversé. Je crois que pendant le renversement du radeau de sauvetage, le câble qui le retenait au bateau s'est sectionné. Après le chavirage, le radeau se trouvait à environ 12 pieds du Seaforth Highlander et je pouvais voir, selon moi, huit ou neuf hommes aggripés au bateau dans l'eau. Je pouvais voir tous ces hommes. Ils portaient tous des gilets de sauvetage et étaient tous munis d'un voyant lumineux... Nous étions toujours à côté du radeau de sauvetage et après une minute et demie ou deux minutes environ – c'est très difficiles à établir exactement – les hommes qui étaient accrochés au bateau ont commencé à lâcher prise et à glisser le long du côté bâbord. À ce moment-là, j'ai crié par le mégaphone à l'officier sur le pont de lancer par-dessus bord un radeau de sauvetage à l'eau. J'ai vu les hommes se précipiter vers le radeau sur le pont, ils l'ont lancé par-dessus bord et le radeau s'est gonflé juste à côté des hommes qui se trouvaient dans l'eau. Aucun des hommes dans l'eau n'a tenté un geste

quelconque pour s'agripper au radeau. Aucun effort n'a été fait par aucun des hommes qui se trouvaient dans l'eau. Apparamment aucun des hommes n'a tenté un geste quelconque pour atteindre les tire-veilles que mes hommes leur avaient lancés après le chavirement du bateau. J'ai vu une bouée de sauvetage accrochée au bout d'un tire-veilles tomber tout près des hommes qui s'agrippaient au bateau et ils n'ont fait aucun effort pour l'attraper. À ce moment-là certains hommes dérivaient vers le côté gauche du navire, mais le radeau de sauvetage se trouvait encore à bâbord et deux ou trois hommes s'y agrippaient toujours. Ils étaient très proches de mon hélice bâbord, j'ai donc dû l'arrêter pour éviter que des hommes ne soient happés par l'hélice... J'ai manoeuvré le navire pour le replacer en amont du radeau et je me suis approché du radeau, des hommes et des gilets de sauvetage qui flottaient. Il n'y avait aucun signe de vie. Nous avons pu voir tous les hommes flotter, la tête dans l'eau, certains d'entre eux avaient les bras tendus, ne montrant aucun signe de vie et les hommes sur le pont essayaient de récupérer les corps.

Dans ce cas-ci, il est évident que la mort s'est produite à cause du choc dû au froid et, peut-être, d'un épuisement à la nage, mais elle ne peut certainement pas être attribuée à l'hypothermie.

Capacité de retenir son souffle et de contrôler le rythme de sa respiration

Il s'agit de deux facteurs extrêmement critiques pour toute personne qui quitte un bateau pour se retrouver en eau froide. Si elle porte des vêtements secs en quittant le bateau dans un radeau de sauvetage, le problème ne se pose pas. Par contre, si elle se retrouve en eau froide en quittant le bateau, à moins d'être physiquement et mentalement préparée à faire face à l'état de choc dû au froid et d'être protégée par des vêtements de survie, un gilet de sauvetage et un capuchon anti-éclaboussures, elle risque de se noyer dans les instants qui suivent l'abandon en raison de son incapacité à contrôler sa respiration dans les trois premières minutes consécutives à l'immersion. Ce qui fait problème, c'est non seulement l'incapacité de retenir son souffle, mais aussi l'incapacité, lorsqu'on se retrouve dans une eau agitée, de contrôler sa respiration et de la coordonner avec le mouvement des vagues. C'est un scénario typique qui s'applique à des passagers à bord d'embarcations ou de navires de croisière qui parcourent les lacs et les rivières du Canada au printemps et au début de l'été.

Sterba et ses collaborateurs (1979) (référence 142) ont étudié la capacité de rétention du souffle chez les êtres humains, dans une eau dont la température se situait entre 15 et 35 °C. Ils sont parvenus à la conclusion qu'à une température de 15 °C, la capacité de rétention du souffle était environ 30 % de celle observée à l'extérieur de l'eau.

Hayward et ses collaborateurs (1984) (référence 74) ont clairement fait ressortir l'existence d'une relation inverse entre la température de l'eau et la capacité de rétention du souffle. Ainsi, en cas d'immersion dans une eau à 25 °C, la durée moyenne de la rétention du souffle est de 38 secondes, alors que dans une eau à 15 °C, 10 °C et 5 °C, elle est de 28, 24 et 19 secondes, respectivement. Ils ont conclu que la durée de la rétention du souffle dans une eau à moins de 15 °C était de 25 à 50 % de celle observée avant la submersion. L'extrémité supérieure de leur courbe prévisionnelle a été récemment validée par Cheung et ses collaborateurs (2001) (référence 35) au terme d'une expérience menée dans une eau à 25 °C, auprès de 228 sujets. La durée moyenne de rétention du souffle observée était de 39,8 ± 21,1 secondes.

Potentiel pour une arythmie cardiaque

Tipton (1989) (référence 153) avait déjà documenté les réactions cardiorespiratoires initiales à une immersion en eau froide, c.-à-d. l'augmentation considérable du rythme cardiaque et de la pression sanguine dans les trois premières minutes de l'immersion. Ensuite, en 1994, Tipton et ses collaborateurs ont étudié la réaction cardiaque à une submersion dans une eau à 5 et à 10 °C (référence 157). L'arythmie ectopique (pulsations cardiaques irrégulières) a été observée chez 11 des 12 sujets dans 29 des 36 submersions. Ce phénomène s'est produit immédiatement après que le sujet cesse de

retenir son souffle, c'est-à-dire juste après avoir sauté dans l'eau et lorsqu'il doit prendre une respiration profonde. Cette arythmie était bénigne dans la plupart des cas (c.-à-d. elle a été de courte durée, d'origine supraventriculaire et ne produisant aucun symptôme). Cependant, cela pourrait ne pas être le cas pour une population de touristes plus âgés qui devraient avoir à abandonner un navire en eau froide, comme dans le fleuve Saint-Laurent ou dans l'un des Grands Lacs. Pour les personnes susceptibles d'avoir un problème de circulation cardiaque, le cœur réagira probablement très fortement à une immersion soudaine en une eau froide à 10 °C, ce qui peut causer un arrêt cardiaque ou la mort. L'immersion soudaine en eau froide jusqu'au cou rend le coeur encore plus susceptible d'arythmie en raison de l'augmentation de la production d'hormones de stress (c.-à-d. adrénaline, noradrénaline). La fréquence de cette arythmie est encore plus élevée lorsque le visage est dans l'eau.

Dextérité manuelle

Il y a maintenant des études qui ont été faites sur la perte de tactilité en eau froide au cours des 10 à 15 premières minutes d'immersion (référence 78). Pendant cette période, l'eau froide paralyse les membres, particulièrement les mains. Ce qui peut rendre impossible toute tentative d'autosauvetage. À elles seules, ces études renforcent l'idée de la possibilité de périr avant l'hypothermie.

La capacité d'exécuter des manœuvres comme actionner le dispositif de gonflage du gilet de sauvetage (une fois endossé), monter sur un radeau de sauvetage, s'agripper à un tire-veilles ou lancer une fusée dépend de la dextérité manuelle et de la force de préhension. La capacité du muscle à produire de la force est réduite lorsque sa température est inférieure à 27 °C, ce qui peut survenir en 20 minutes seulement, au contact d'une eau à 12 °C (référence 16). Vincent et Tipton (1988) (référence 151) ont montré que la force de préhension volontaire maximale de sujets immergés dans une eau à 5 °C, les mains ou les avant-bras non protégés, était réduite de 16 % et 13 %, respectivement, et que le port de gants réduisait considérablement cette force de 16 % dans l'air, et que sous l'effet combiné du port de gants et de l'immersion dans l'eau, la perte était de 31 %. Les études ont aussi mis en évidence que la force de préhension des mains pouvait être réduite de 60 % (références 36, 37, 60 et 81), la dextérité manuelle, de 30 % (références 48, 95 et 148), et que la vitesse de flexion des doigts diminuait de 15 à 25 %. Une récente étude effectuée par Heuss et ses collaborateurs (1995) (référence 78) présentait des critères minimaux de température pour assurer la sécurité et la performance des mains – température de la peau de 15 °C, température des nerfs de 20 °C et température des muscles de 28 °C.

Le naufrage du Hudson Transport le jour de Noël de 1981 dans des eaux glacées, au large du golfe Saint-Laurent, est un exemple type de cas où le refroidissement des extrémités a contribué au décès de cinq matelots (référence 80).

Le radeau était surchargé. Il faisait nuit noire. Les lumières du pont venaient de s'éteindre. Ils pouvaient entendre l'air qui fuyait. Ils pouvaient sentir l'eau glacée dont le niveau ne cessait de monter autour d'eux. Un état de panique s'empara de tous les hommes. Six d'entre eux réussirent à regagner le pont. Le capitaine et Kennedy les aidèrent à grimper tant bien que mal sur le côté du navire... On peut s'imaginer dans quelle mesure leur situation était désespérée si l'on considère que certains étaient à ce point frigorifiés au contact du vent et de l'eau qu'ils ont utilisé leurs genoux et leurs coudes, plutôt que leurs mains et leurs pieds, pour grimper à l'échelle. Cinq autres... sont tombés à l'eau et n'ont pas été retrouvés. Certains avaient peut-être simplement trop froid pour être en mesure de monter dans l'échelle...

Les passagers devraient-ils porter des gilets de sauvetage avant l'abandon du navire?

Cette question a été posée à la suite de plusieurs naufrages rapides. Parmi les cas qui ont particulièrement retenu l'attention figurent le naufrage du MV George Prince (1976) (référence 163) dans le fleuve Mississippi, où 76 personnes ont perdu la vie; le naufrage du USCGC Cuyahoga (1978) (référence 164) dans la baie de Chesapeake, où 11 personnes ont perdu la vie; le naufrage du Marchioness (1989) (référence 105) dans la Tamise, en Angleterre, où 51

personnes ont péri et le naufrage du MV Miss Majestic (1999) (référence 165) sur le lac Hamilton, en Arkansas, où 13 personnes ont perdu la vie. Le problème constaté dans chacun de ces accidents est que de nombreuses personnes ont été coincées entre les ponts. Le port d'un gilet de sauvetage à matériau insubmersible aurait entravé davantage les gestes qu'ils auraient pu tenter pour quitter le navire. Quoi qu'il en soit, le port d'un gilet de sauvetage a été indispensable à la survie de ceux qui se sont retrouvés à l'eau et dans l'obscurité, dans deux des accidents.

Autrement dit, si l'on doit réglementer le port du gilet de sauvetage par les passagers à bord de navires ne pouvant se doter d'un radeau de sauvetage, il faut que le gilet soit gonflable. Les gilets gonflables actuels sont un excellent dispositif de sauvetage; ils sont confortables, discrets et fiables. Les Européens s'en servent depuis des années dans la navigation de plaisance et la navigation commerciale pratiquées sur leurs lacs, leurs rivières et leurs canaux. Le Canada a simplement tardé à faire adopter de nouvelles mesures législatives en la matière et ce n'est que depuis cinq ans que l'usage de ces gilets a commencé à se répandre.

L'argument invoqué par les exploitants de navires, à savoir que le coût d'achat et de maintien de ces dispositifs est élevé, n'est valable qu'en partie. En fait, à partir du moment où les exploitants commenceront à les utiliser et où les passagers s'habitueront à les porter, le niveau de confiance quant à leur utilité augmentera, leur coût d'achat diminuera (sous l'effet d'un accroissement de la demande), tout comme leur coût d'entretien, puisque la population commencera à faire attention à un excellent dispositif qui peut lui sauver la vie. Les deux enfants qui ont péri lors de l'accident du True North II auraient vraisemblablement été bien vivants aujourd'hui s'ils avaient revêtu un bon gilet gonflable lorsqu'ils sont montés à bord du navire.

Résumé du chapitre 1

Le présent chapitre analyse les points essentiels concernant la physiologie d'une immersion soudaine en eau froide par accident.

- Il y a à peine cinquante ans, nul ne comprenait vraiment pourquoi les personnes immergées en eau froide décédaient. Le phénomène était attribué à une incapacité à demeurer à la surface de l'eau et était associé à des termes vagues tels que l'« exposition ». Personne non plus n'était particulièrement préoccupé par la constance des pertes en vies humaines. On acceptait simplement ce fait comme étant un risque professionnel et la fatalité.
- Les premières tentatives pour sauver les marins victimes du naufrage de leur navire ont été de leur fournir des objets pour flotter dans l'eau plutôt que sur l'eau.

- La mort peut se produire au cours de l'un des quatre stades d'immersion :
- Stade 1 : Choc dû au froid (3 à 5 minutes)
- Stade 2 : Épuisement à la nage (3 à 30 minutes)
- Stade 3 : Hypothermie (après 30 minutes)
- Stade 4 : Effondrement post sauvetage (pendant ou après le sauvetage)

- Même si les quatre stades étaient connus depuis la Seconde Guerre mondiale, les stades 1 et 2 n'étaient considérés que d'intérêt purement théorique. En conséquence, les organismes de réglementation, les établissements d'enseignement et les fabricants de combinaisons de survie ont concentré leurs efforts pour protéger l'être humain de l'hypothermie. En fait, sur ce plan, ils ont fait du très bon travail.
- Même s'il existe des programmes de formation bien établis, de bonnes réglementations et du matériel de sauvetage amélioré, il reste toujours qu'il se produit près de 140 000 décès en mer chaque année. Ce qu'on a négligé est l'importance comme cause de décès des deux premiers stades – le choc dû au froid et l'épuisement à la nage. La gravité de l'effet du choc dû au froid est directement proportionnelle à la température de l'eau qui oscille entre 10 et 15 °C.
- Les profanes et les enquêteurs d'accidents sont souvent étonnés d'apprendre que certaines personnes ne survivent pas à une immersion prolongée, même si elles se situent théoriquement dans les limites « sûres » des courbes prévisionnelles de survie actuelles. Ces personnes ne meurent pas d'hypothermie proprement dite. Leur décès est attribuable à une diversité de problèmes parmi lesquels une hypothermie

modérée suffit à leur faire perdre leurs capacités physiques et leur volonté à se maintenir dos aux vagues. Par conséquent, elles inhalent la vague suivante et perdent la vie en se noyant même si elles portent un gilet de sauvetage.

- Compte tenu de toutes les recherches qui ont été effectuées sur des accidents en eau froide, il appert qu'une immersion soudaine en eau froide, c'est-à-dire à une température inférieure à 15 °C, est très dangereuse et qu'elle devrait être évitée dans la mesure du possible. On a démontré que les capacités d'un nageur en eau tempérée n'ont rien à voir avec ses capacités en eau froide. La décision consciente de nager (et de se sauver) ou de flotter dans l'eau (et être rescapé) ne doit pas être prise à la légère sans avoir évalué les avantages et les inconvénients. Dans une eau dont la température est inférieure à 15 °C, les membres d'équipage et les passagers doivent abandonner le navire au sec. S'il n'est pas possible d'arrimer un radeau de sauvetage sur un petit bateau, les passagers doivent alors porter en tout temps un gilet de sauvetage moderne et gonflable.

CHAPITRE 2

COMMENT SE PROTÉGER DES QUATRE STADES DE L'IMMERSION EN EAU FROIDE

Introduction

Pour le lecteur qui est passé directement à ce chapitre en sautant le chapitre 1, les quatre stades physiologiques sont : le choc dû au froid, l'épuisement à la nage, l'hypothermie et l'effondrement post sauvetage. Le principe de base de la protection est d'éviter le contact de l'eau froide avec la peau. Les parties du corps d'importance particulière en ce qui concerne le refroidissement pendant l'immersion en eau froide sont, pour différentes raisons, la tête, le dos et les membres. La tête n'a qu'une faible réaction vasoconstrictive, ainsi, le sang continue d'irriguer cet endroit même dans le froid. Par conséquent, beaucoup de chaleur se perd par la tête et, lorsqu'elle n'est pas protégée, cela peut constituer un facteur important de déperdition de chaleur. L'immersion de la tête peut accélérer considérablement la chute de température corporelle centrale et l'installation de l'hypothermie (Froese et Burton (1957) (référence 46). Une circulation sanguine réduite aux extrémités combinée à l'angle de flottaison horizontal adopté dans l'eau avec la plupart des combinaisons d'immersion expliquent le fait que le plus grand pourcentage de déperdition de chaleur se produise par le dos par le phénomène de conduction. Une des raisons pour cela est que la pression hydrostatique exercée sur la combinaison réduit à cet endroit sa capacité isolante (Tipton et Balmi, 1996) (référence 159). Grâce à la vasoconstriction périphérique, relativement peu de chaleur corporelle ne s'échappe par les membres pendant le refroidissement. Cependant, une conséquence de la réduction de la circulation sanguine vers les extrémités est que la température locale des tissus à ces endroits chute et que la fonction neuromusculaire peut être rapidement diminuée. La survie peut alors être compromise par l'incapacité à utiliser ses mains pour faire des gestes essentiels de survie comme monter à bord des radeaux de sauvetage, revêtir des gilets de sauvetage ou allumer des fusées éclairantes (Tipton et Vincent, 1988) (référence 151).

Pour le profane qui pourrait ne pas comprendre la gravité de l'immersion en eau glacée, le naufrage de l'Empress of Ireland en 1914 en moins de 14 minutes au large de Rimouski dans le golfe St-Laurent peint un portrait macabre.

Le navire a coulé, et pendant qu'il coulait, un énorme et terrible cri a fusé de 700 gorges. À l'endroit ou se trouvait le navire, une masse d'hommes, de femmes et d'enfants « aussi dense qu'un essaim d'abeilles » luttaient pour leur survie. Ceux qui avaient des gilets de sauvetage se trouvaient entraînés vers le bas par ceux qui n'en n'avaient pas... Les scènes sous les ponts (du Storstad qui était entré en collision avec l'Empress of Ireland mais qui était demeuré sur place pour mener le sauvetage), défiaient toute description, 1 012 personnes ont péri.

Poussés par un besoin désespéré de chaleur, des centaines de survivants se sont massés dans les salles des machines et des chaudières. Certains d'entre eux s'appuyaient contre les réservoirs jusqu'à ce qu'il se forme des ampoules sur la peau. Les femmes, grelottant de froid, ont essayé de faire sécher les lambeaux de leur robe de nuit. Bon nombre d'entre elles avaient tellement froid qu'elles ne pouvaient même pas enlever le peu de vêtements qu'elles portaient. Mme Andersen a dû les dévêtir et recouvrir leur corps engourdi de tous les vêtements qu'elle pouvait trouver. Ensuite, on a placé les femmes dans les couchettes étroites des marins norvégiens deux par deux, tête-bêche, comme des harengs dans une boîte de conserve, pour qu'elles puissent se réchauffer et revenir à la vie. (Croall, 1978) (référence 38).

La première solution qui nous vient à l'esprit est que, en pratique, il devrait être possible d'enfermer le corps d'une personne jusqu'au cou dans une sorte de vêtement ou d'enveloppe complètement ou partiellement étanche pour éviter les réactions au froid. C'est exactement la démarche qui a été adoptée jusqu'à maintenant. En fait, le British Merchant Advisory Committee connaissait cette solution depuis 1922, mais il n'a pas fait grand chose pour qu'elle soit prise en considération (référence 112).

Les vêtements de flottaison individuels ont connu toute une série de changements d'appellation au fil des ans : combinaison flottante de protection, combinaison d'immersion, combinaison flottante en cas

de naufrage, combinaison étanche et combinaison de survie. Dans le présent rapport, on n'utilisera que l'expression « combinaison d'immersion », sauf lorsque des auteurs se serviront d'autres expressions pour décrire une expérience physiologique précise ou pour un rapport d'accident maritime cité en référence.

Tout récemment, en deux points situés aux antipodes du globe, deux accidents se sont produits à seulement une journée d'intervalle. Ils font ressortir que la combinaison d'immersion individuelle est aussi nécessaire aujourd'hui, au XXI^{e} siècle, que lorsque les humains ont décidé de prendre la mer, il y a des milliers d'années. Comme au chapitre 1, d'autres accidents se sont produits plus récemment qui seront analysés plus tard pour illustrer certains problèmes en particulier.

Dix décès signalés dans le naufrage d'un traversier (Oslo) (Halifax Chronicle Herald, 27 novembre 1999)

Dix personnes sont mortes et onze autres sont portées disparues et on croit qu'elles se sont noyées dans le naufrage d'un traversier norvégien ultra-moderne, ce vendredi, dans les eaux tumultueuses et glacées au large de la côte ouest de la Norvège.

Les espoirs de trouver des survivants se sont estompés quelques heures après que l'élégant catamaran Sleipner, ayant 88 personnes à bord, a coulé dans la mer du Nord après avoir frappé des rochers près de Haugesund dans une tempête à la tombée de la nuit.

Un traversier coule au large de la Chine (Halifax Chronicle Herald, 26 novembre 1999)

Jeudi, plus de 24 heures après avoir reçu le premier appel de détresse du navire, seulement 36 personnes avaient été retirées des eaux froides après le naufrage du traversier Dashum de 9 000 tonnes qui avait à bord 312 passagers et membres d'équipage

---

Une catastrophe semblable pourrait facilement se produire avec les traversiers canadiens, par exemple, les traversiers faisant le service entre Sydney, Nouvelle-Écosse, et Terre-Neuve ou Yarmouth, Nouvelle-Écosse, et Bar Harbor, Maine. Actuellement, sans aucune protection à bord, on peut prévoir un tel taux de mortalité. L'équipage et les passagers du William Carson ont eu très chaud en juin 1977. Le traversier, en route vers Goose Bay, a été perforé par la glace et a coulé très rapidement au large de St. Anthony, Terre-Neuve. Miraculeusement, tous les 128 membres d'équipage et passagers ont réussi à prendre place, en pleine nuit, dans les embarcations de sauvetage de manière ordonnée et sécuritaire (référence 145).

Études physiologiques menées en Europe et en Amérique du Nord 1939 - 1945

Pendant la Seconde Guerre mondiale, aucun des marins, qu'ils soient des forces alliées ou des forces de l'Axe, ne portait de combinaison d'immersion. Par conséquent, il n'est pas étonnant de constater dans le rapport Talbot (1946) (référence 147) et le rapport de McCance et coll. (1956) (référence 108) qu'entre 30 et 40 000 marins se sont simplement noyés en tentant d'abandonner leur navire, c'est-à-dire pendant la phase de survie. Au cours de la guerre, T.E. Metcalfe avait inventé une simple combinaison de protection pour les marins des navires marchands. Dès 1944, plus de 300 000 combinaisons avaient été fabriquées (référence 22). Trop souvent, on ne trouvait pas de combinaisons le moment venu parce qu'on s'en servait à d'autres fins que celles prévues à l'origine, comme pour des travaux de peinturage à bord. Elles étaient trop minces pour être portées pendant une période prolongée et n'étaient conçues que pour être utilisées une fois à bord du radeau de sauvetage et non dans l'eau pendant l'abandon du navire. Concrètement, elles n'ont probablement pas fait une grande différence dans le bilan d'ensemble assez sombre des survivants. Macintosh et Pask (1957) (référence 107) ont effectué des travaux préliminaires secrets sur le rendement des gilets de sauvetage, mais leurs efforts ne se sont concrétisés par des améliorations des gilets de sauvetage que bien après la fin des hostilités par l'élaboration des normes SOLAS 1948 et BSI 1963.

Comme nous l'avons mentionné au chapitre 1, dans le paragraphe portant sur l'effondrement post sauvetage, les Allemands avaient constaté la gravité des pertes tragiques de valeureux combattants lors d'accidents avec une immersion soudaine en eau froide. Le naufrage du Bismarck et la perte d'aviateurs qui s'étaient éjectés de leur avion et avaient sauté en parachute dans les eaux froides de la mer du Nord pendant la bataille de la Grande-Bretagne ont poussé les physiologistes et les praticiens de médecine aéronautique à examiner le problème plus à fond. Ils ont entrepris un vaste programme de recherche et développement qui a été en partie la justification des infâmes expériences de Dachau (Matthes, 1946) (référence 109) et (Alexander, 1946) (référence 4). Ils ont été les premiers à observer la baisse de température postérieure au sauvetage (« after-drop ») ou la baisse continue de la température corporelle centrale d'une personne après qu'elle a été retirée de l'eau froide. Ils ont également fait des expériences avec des combinaisons de survie et le Deutsches Textilforschunginstitut à München-Gladbach, a ingénieusement fabriqué une combinaison, dont l'isolation était obtenue avec des bulles de savon (Alexander, 1946) (référence 4), qui semble avoir été utilisée à quelques reprises (référence 147).

De l'autre côté de l'Atlantique, pendant la Seconde Guerre mondiale, le Canada, sous la direction initiale du professeur Banting de l'Institut de médecine aéronautique de la Royal Canadian Air Force à Toronto, avait entrepris des travaux de recherche et développement sur une combinaison d'immersion destinée à la marine et à l'aviation. En 1941, Gagge, Burton et Bazett avaient de la difficulté à expliquer aux soldats, aux marins et aux aviateurs quelle quantité d'isolant à ajouter ou à enlever de leurs vêtements en fonction de la température de l'air extérieur, de leur niveau d'exercice, c'est-à-dire s'ils étaient en période de repos ou non. Ils ont créé l'unité de mesure clo qui permettait de mesurer la capacité d'isolation des vêtements et qui pouvait être utilisée par les ingénieurs en chauffage, les médecins et les physiologistes (Gagge, et coll., 1941) (référence 47). Le clo égale 0,155 °C.m2.W-1 et constitue le degré d'isolation nécessaire pour maintenir le confort d'un humain au repos dans un milieu ambiant à 21 °C, à 50 % d'humidité relative et avec une circulation d'air de 0,1 mètre seconde-1. L'équivalent européen du clo utilisé pour les sacs de couchage et les isolants en duvet est le tog, qui équivaut à 0,645 clo. La valeur clo et sa mesure seront examinées plus tard dans ce rapport.

$$1 \text{ clo} = 0{,}155 \text{ °C.m2.W-}^{1}$$
$$1 \text{ tog} = 0{,}645 \text{ clo}$$
$$0.1 \text{ °C.m2.W-}^{1}.$$

Les essais d'équipement probablement les plus importants ont été menés en 1943 pour le compte de la Royal Navy par la Royal Canadian Navy, à Halifax, Nouvelle-Écosse. Le médecin-capitaine Best de l'Unité de recherche médicale de la RCN (qui, en collaboration avec Banting, avait découvert l'insuline en 1921) a géré l'énorme projet et la U.S. Navy a fourni d'autres navires et du personnel américain pour servir de sujets d'expérience (référence 24). Toutes les exigences, souvent contradictoires, dont les concepteurs de combinaisons d'immersion doivent tenir compte aujourd'hui ainsi que les problèmes éventuels ont été étudiés, notamment la légèreté, la simplicité, l'étanchéité aux poignets et au cou, les fermetures à glissière, les fermetures et les cordelières de serrage, la facilité d'habillage l'ajout ou non de gants et la flammabilité (Hiscock, 1980) (référence 79).

En 1942, Frankenstein, au Royaume-Uni, avait mis au point une combinaison d'immersion en cuir destinés aux pilotes des Hurricane qui protégeaient les convois de Murmansk et qui devaient amerrir d'urgence après leur décollage dans une eau près du point de congélation parce que les porte-avions, à l'époque, n'étaient pas dotés de brins d'arrêt. Count Morner, en Suède (référence 116), a aussi inventé une combinaison de survie pour les marins de la marine marchande pendant la guerre, mais en général, partout dans le monde, le principe était de faire flotter les survivants dans l'eau plutôt que sur l'eau, de là les sombres statistiques sur les survivants de naufrages. À la fin de la guerre, La Royal Canadian Air Force avait mis au point une combinaison d'immersion pour ses pilotes convoyeurs (figure 15) qui a été utilisée dans une certaine mesure.

La U.S. Navy a été beaucoup plus lente à évaluer les besoins pour des combinaisons d'immersion, car les États-Unis sont entrés en guerre un peu plus tard et leurs opérations, particulièrement la campagne contre le Japon s'effectuaient dans des eaux plus chaudes, alors que les Britanniques, les Canadiens

et les Allemands avaient des opérations sur des mers dont la température de l'eau s'élevait rarement au-dessus de 15 à 16 °C et, pendant une grande partie de l'année, elle se trouvait en dessous de la barre des 10 °C. Une autre raison était que le personnel opérationnel n'était toujours pas convaincu de l'effet mortel de l'immersion soudaine d'un humain dans l'eau froide. Les fonds et les ressources pour la recherche et développement se sont faits attendre et peu de progrès ont été réalisés pendant la guerre. Un fait important, cependant, a été la reconnaissance par Spealman (1944) (référence 138) et Newburgh (1968) (référence 119) des dangers d'une hypothermie causée par l'immersion en eau froide.

Les premières expériences pratiques ont été menées aux États-Unis par le capitaine de corvette Hiscock, membre de la Emergency Rescue Equipment Section (ERE). Tous les travaux scientifiques ont été effectués sous la gouverne du professeur Newburgh, Ph.D., à l'institut NMRI à Bethesda. Lors de la réunion d'information de l'ERE en juin 1943, le compte rendu mentionnait que les « combinaisons de sauvetage » s'étaient révélées dangereuses. L'ERE a recommandé qu'elles soient remplacées par la « combinaison de protection » mise au point pour la garde côtière américaine par la société B.F. Goodrich. Selon Hiscock, il s'agissait de la première mention de combinaisons de protection pour les marins des forces navales et de la marine marchande. Lors de la conférence de l'ERE en août 1943, on a recommandé que les combinaisons présentent les caractéristiques suivantes :

- aussi légères que possible, pour réduire au maximum le volume
- aussi simples que possible, sans fermetures à glissière étanches
- les mains doivent être libres, les poignets dotés de fermetures adéquates
- pouvoir être portées avec un gilet de flottaison individuel en dessous et pouvoir être fixées au dos d'une veste ou d'un gilet de sauvetage (référence 79).

Cependant, comme c'est le cas bien souvent, après la guerre, toute cette recherche a été mise au rancart et rien d'autre n'a été fait pour protéger les marins.

La Section ERE a été transférée à l'Air Sea Rescue Organization en 1944. Bien qu'un gilet de sauvetage doublé de kapok amélioré ait été présenté à la garde côtière comme aboutissement de ces travaux (référence 3), il semble que les combinaisons d'immersion n'aient été fabriquées commercialement, aux États-Unis, qu'en très petite quantité pendant les dernières années de la guerre.

Études physiologiques menées en Europe et en Amérique du Nord 1945 – 1970

L'énorme quantité de décès en mer pendant la guerre a incité plusieurs pays à examiner le problème plus à fond. Les lignes suivantes présentent un bon nombre des différentes expériences qui ont été menées pour explorer le problème. Voici les principaux éléments traités :

- la portée de la recherche;
- les différents concepts et différentes conceptions de combinaisons;
- les sujets des expériences ont surtout été des Européens ou des Nord-Américains blancs;
- les plongeurs ont souvent été utilisés comme sujets d'expérience et ils avaient tendance à être déjà acclimatés au froid;
- les expériences étaient effectuées en eau calme ou légèrement agitée;
- l'absence des femmes parmi les sujets d'expérience;
- l'absence d'un très grand nombre de sujets mâles pour chaque expérience;
- le fait que l'ensemble des sujets étaient fondamentalement jeunes, en bonne santé;
- la multitude de températures de l'eau utilisées dans les essais;
- la difficulté initiale de trouver des fermetures à glissière fiables et étanches;
- la difficulté récurrente à produire des combinaisons complètement étanches;
- la médiocrité du contrôle de la qualité lorsque les prototypes de combinaisons étaient produits en série;
- le fait qu'il y ait très peu de protocoles expérimentaux normalisés rend très difficile la comparaison directe d'expériences effectuées par différents groupes.

Ce sont les aviations du monde entier qui ont été les premières à agir. Ce n'est pas avant 1983 que l'industrie maritime commerciale et les organismes de réglementation internationaux ont adopté une norme relative aux combinaisons d'immersion élaborée par l'Organisation maritime internationale. Dans toutes les expériences, les exigences relatives aux combinaisons d'immersion étaient les suivantes :

- légères et faciles à enfiler;
- imperméables, mais le tissu devait permettre de porter la combinaison en permanence (c.-à-d. tissu qui respire);
- compatibles avec d'autre équipement comme les gilets de sauvetage;
- assez confortables pour nager et ne pas nuire à l'exécution de gestes essentiels à la survie dans l'eau;
- de conception ergonomique pour pouvoir être portées par une grande diversité de personnes.

En fait, la majorité des expériences ont été faites à l'envers du bon sens. Les combinaisons ont été mises à l'essai sur différentes personnes, ensuite on a tiré des conclusions qu'un être humain pourrait sans doute survivre un certain temps dans une température donnée de l'eau en portant ce type de combinaison particulier (figure 7).

En ce début de XXI^{e} siècle, avec la multitude de rapports stockés dans des bases de données ou des sites Web, un grand nombre des rapports précédents ont été oubliés ou ont été éliminés pour faire plus d'espace ou parce qu'ils étaient plus vieux que 25 ans. Certains de ces travaux initiaux ont déjà été perdus pour toujours. (Témoignages de McCance, travaux de Lee sur les gilets de sauvetage). Les deux prochaines parties sont très longues et nous ne nous en excusons nullement, car elles contiennent la clé de la recherche fondamentale. Il est essentiel que cela soit documenté en totalité, sinon les nouveaux chercheurs ne comprendront pas la démarche scientifique qui a été suivie pour ces travaux de recherche et développement.

Figure 7 : Premiers essais d'une combinaison d'immersion après la guerre par la U.S. Coast Guard (ces combinaisons ne semblent-elles pas familières!)

En 1946, Newburgh, Spealman et Van Dilla ont cerné les difficultés à protéger les mains en eau froide (références 119 et 139) mais, comme mentionné ci-dessus, on n'a pas donné suite à ces travaux aux États-Unis jusqu'à ce que la guerre de Corée soit bien entamée.

Entre-temps, au Royaume-Uni, le Medical Research Council a financé un grand nombre d'expériences qui ont été menées sous les auspices du Royal Navy Personnel Research Committee. Ces expériences se sont soldées par une analyse approfondie du problème dans de nombreux laboratoires et ont abouti à une série d'essais sur le terrain. À partir de ces travaux, la combinaison flottante en cas de naufrage à utilisation unique, le nouveau gilet de sauvetage gonflable RFD modèle n° 5580 et la première combinaison de sauvetage des équipages de sous-marins ont été mis au point pour la Royal Navy. Parallèlement, la Royal Air Force a développé la combinaison d'immersion à port constant, modèles Mk 1 à 8, à l'intention des équipages d'aéronefs. Les six premières versions de combinaison Mk ont été fabriquées en nylon néoprène et, depuis 1951, les versions Mk 7 et plus récentes sont fabriquées avec du tissu ventilé inventé par le Shirley Institute juste après la guerre. L'innovation était que ce tissu était du coton égyptien tissé de manière à permettre à l'humidité du corps (vapeur d'eau) de s'échapper par les interstices, mais, une fois immergées, les fibres de coton foulaient de manière à produire un vêtement imperméable. En réalité, on a découvert que les combinaisons devaient être fabriquées en deux couches de tissu pour éviter que la compression hydrostatique ne pousse l'eau à travers l'épaisseur unique de tissu avant que les fibres n'aient le temps de fouler (référence 172). D'autres déceptions ont été que le tissu coûtait très cher à pro-

duire à grande échelle, que les combinaisons étaient chères à l'achat et longues à fabriquer, et que les fibres ne fouleraient pas efficacement si elles étaient exposées à la sueur ou à l'huile naturelle du corps. Après les combinaisons Mk 8, toutes les autres versions ont été fabriquées en une seule pièce.

De l'autre côté de l'Atlantique, aux États-Unis, Bradner, en 1951, a utilisé pour la première fois de la mousse néoprène pour fabriquer des combinaisons d'immersion (référence 19). En 1952, la U.S. Navy a officiellement reconnu que l'équipement de survie qu'elle avait utilisé pendant la Seconde Guerre mondiale était inadéquat (référence 167). Elle a entrepris un vaste projet de R et D sur les quinze prochaines années dans le but de réaliser une combinaison de survie pour ses marins et une combinaison d'immersion à port constant pour les pilotes de l'aéronavale qui devaient survoler des étendues d'eau froide. Les principaux travaux ont été menés par Newburgh qui a présenté ses résultats dans l'ouvrage intitulé Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing (référence 119). Une imposante série d'essais effectués par l'U.S. Navy (USN) en 1955 sur huit versions de trois combinaisons d'immersion n'a pas abouti en une combinaison valable (référence 166). L'U.S. Air Force (USAF), qui avait aussi éprouvé des pertes de vies humaines dans les eaux froides au large de la Corée, a entrepris des travaux qui ont été dirigés par Hall et ses collaborateurs au Wright Patterson AFB. Ils ont fait un grand usage du mannequin thermosensible de concert avec la U.S. Navy et l'US Army Research Institute of Environmental Medicine. Des résultats types d'expériences effectuées sur des mannequins par Bogart et coll. (1966) (référence 25) sont présentés au tableau 1.

Tableau 1 : Valeurs clo en état d'immersion de dix combinaisons testées à l'USARIEM en 1966.

Ensemble (combinaison et sous-vêtements)	Clo en état d'immersion, la tête hors de l'eau
Unisuit avec sous-vêtement Arctic Explorer	1.34
Viking avec sous-vêtement Grey Foam Undergarment	0.87
O'Neill Supersuit avec sous-vêtement Blue Fluff	1.27
White Stag avec sous-vêtement court Neoprene	1.11
Unisuit avec 2 jeux de sous-vêtement Arctic Explorer	1.55
Viking avec sous-vêtement O'Neill Blue Fluff	0.73
Unisuit avec sous-vêtement en mousse (Viking)	1.38
O'Neill Supersuit avec sous-vêtement Navy Waffle	0.96
Unisuit avec vêtement isolant	1.13
O'Neill Supersuit avec vêtement isolant	1.07

Les travaux les plus importants ont été ceux effectués par Hall et coll. (1954, 1956, 1958) (références 61, 62 et 63), Beckman et coll. (1966) (référence 19), Hall et Polte (1960) (référence 64) et Goldman et coll. (1966) (référence 58). Quatre constatations importantes pour les concepteurs de combinaisons d'immersion en ont découlé :

a) les combinaisons perdent 57 % de leur isolation par compression hydrostatique lorsque la personne est immergée jusqu'au cou;
b) une infiltration d'eau aussi petite qu'un litre d'eau dans la combinaison réduit les propriétés isolantes de celle-ci de 22 %;
c) l'isolation maximale du corps, qui est approximativement de 4 clo par pouce d'épaisseur de tissu, n'a aucun effet significatif sur la protection des mains du froid;
d) il a été possible de classer les différents équipements de survie selon leur valeur clo, ou capacité isolante, et de prescrire les valeurs clo appropriées aux différents types d'activités.

Vers 1960, les pilotes de l'aéronavale américaine avaient jeté aux oubliettes leur combinaison sèche Mk 4 qui consistait en une enveloppe extérieure revêtue de caoutchouc, une doublure isolante matelassée et des fermetures élastiques étanches aux poignets et au cou, dans le cas de la combinaison Mk 5. Celle-ci était dotée d'une fermeture à glissière au cou en deux parties et d'un système de ventilation pour le refroidissement. Vers la fin des

années 1960, on a remplacé ce modèle de combinaison par la combinaison humide CWU-9P (référence 103).

De tous les professionnels qui exigent une protection particulière contre le choc dû au froid, l'épuisement à la nage et l'hypothermie, les pêcheurs sont les plus à risque. Les vêtements portés par les pêcheurs n'ont pas changé pendant de nombreuses années (figure 8). En 1966, Schilling (référence 135) et Newhouse (référence 120) ont observé une fatigue chronique, des dermatites de contact et un haut taux de mortalité par noyade de marins ayant été entraînés par-dessus bord en haute mer. Entre 1959 et 1963, les décès, dans l'industrie du chalutage britannique, se sont produits, en moyenne, au rythme d'une personne toutes les six semaines. En 1970, une équipe mixte, formée de représentants du Trade Union Congress, du Medical Research Council, du RAF Institute of Aviation Medicine et de l'Army Personnel Research Establishment, a proposé un nouveau vêtement léger, chaud, imperméable et confortable qui était insubmersible et vendu à un prix raisonnable (Newhouse, 1970) (référence 121).

Figure 8 : Croquis réalisé par M.J. Burns de l'équipement type porté par des pêcheurs et le personnel de l'US Lifesaving Service dans les années 1880. (Courtoisie de l'U.S. Coast Guard)

Au cours de cette période, un certain nombre d'autres articles scientifiques importants liés à ces travaux réalisés au Royaume-Uni et au Canada sur les combinaisons d'immersion et les gilets de sauvetage ont été publiés. Allen, à Toronto, a tenté sans succès de trouver une combinaison de remplacement pour la combinaison de sauvetage en cas d'amerrissage forcé utilisée par la RCA (référence 10). Baskerville a examiné l'efficacité des vêtements de protection utilisés par les pilotes de l'aéronavale britannique (référence 18). Crockford a commencé ses travaux en vue de remplacer les vêtements de protection utilisés par les pêcheurs (référence 39). Glaser et McCance ont consigné les résultats des premiers essais dans l'Arctique des vêtements de protection utilisés par la Royal Navy (référence 52). MacIntosh et Pask ont finalement été autorisés à publier leurs travaux secrets portant sur les gilets de sauvetage qui remontaient à la Seconde Guerre mondiale (référence 107). Enfin, Pugh et ses collaborateurs ont publié leurs travaux sur la combinaison de sauvetage d'équipage de sous-marin de la Royal Navy (référence 131).

Voici les principales publications dont la lecture devrait être obligatoire pour tous ceux qui sont engagés dans la conception et la mise au point de combinaisons d'immersion et dans la formation en survie et qui ont été publiées au cours des 25 dernières années de recherche :

Man in a Cold Environment (Burton et Edholm, 1955) (référence 31)
Survival in Cold Water (Keatinge, 1969) (référence 92)
Safety and Survival at Sea (Lee et Lee, 1989) (référence 98)
The Hazards to Men in Ships Lost at Sea (McCance, 1956) (référence 108)
Physiology of Heat Regulation and Science of Clothing (Newburgh, 1968) (référence 119)
Survival at Sea (Smith, 1976) (référence 136)

Essais de combinaisons d'immersion 1970 – 1980

Vers le début des années 1970, on pensait, généralement, que l'hypothermie était la menace principale lors d'une immersion soudaine en eau froide et que la meilleure protection était une combinaison sèche. Cependant, les fabricants, trouvaient

difficile de produire à la chaîne et à prix abordable des combinaisons d'immersion à port constant . Les fermetures à glissière imperméables de bonne qualité coûtaient très cher et les fermetures meilleur marché ne fonctionnaient pas; le contrôle de qualité des combinaisons produites à la chaîne était médiocre, de sorte que même les combinaisons toutes neuves laissaient pénétrer l'eau. La seule solution de rechange au tissu revêtu de néoprène ou de chloroprène était les tissus ventilés et, comme nous l'avons mentionné plus haut, ils étaient coûteux à fabriquer et à assembler en combinaisons. Comme il était difficile de fabriquer une combinaison parfaitement sèche et devant les possibilités qu'elle soit trop chaude et inconfortable à porter en permanence, on a commencé à produire des combinaisons humides.

Il est important que le lecteur ait une définition de la combinaison sèche et de la combinaison humide.

a) Une combinaison sèche est conçue pour fonctionner en gardant sec le vêtement isolant porté en dessous. L'étanchéité est obtenue par l'utilisation de joints, de fermetures à glissière étanches et de tissus imperméables. Une combinaison étanche peut être dotée d'isolation ou non (combinaison doublée et non doublée).
b) Une combinaison humide doit être un vêtement ajusté près du corps qui fonctionne en emprisonnant une couche d'eau près de la peau. De cette façon, seul un petit volume d'eau peut s'introduire entre le vêtement et la peau. Cette eau est réchauffée et n'a aucun effet sur l'isolation inhérente assurée par la combinaison.

Au cours de la dernière décennie, toute une série d'expériences sur les combinaisons d'immersion a pris place en Australie, au Canada, en Finlande, aux Pays-Bas, en Norvège, en Suède, au Royaume-Uni et aux Etats-Unis, soit dans tous les pays où des exploitants maritimes ont des activités en eau froide. Malheureusement, il n'y a jamais eu de véritable projet international conjoint entre les secteurs commercial et militaire visant le développement d'une combinaison; la plupart des travaux ont été effectués isolément, comme nous pouvons le constater ci-après et dans les paragraphes subséquents. Riegel a évalué toute une série de combinaisons au cours de l'hiver 1973 pour la U.S. Coast Guard. Son protocole expérimental, présenté au tableau 2, est un excellent modèle pour tous les chercheurs dans le domaine (référence 132). Crockford a continué d'améliorer les vêtements de travail des pêcheurs britanniques (référence 40). Millward a évalué plusieurs combinaisons à l'intention des agents de protection des pêches britanniques (référence 114). Hampton a évalué les plus récentes versions de combinaisons d'immersion destinées aux pilotes d'hélicoptères travaillant pour l'industrie britannique d'exploitation pétrolière en mer (référence 66) et Werenkskiold a évalué des modèles de combinaisons d'immersion plus récents au Norwegian Ship Institute (référence 171). Goldman a continué de travailler avec des sujets humains et des mannequins sur des problèmes de survie pour l'aviation, l'armée et la marine américaines (référence 59). Johansson a évalué une très grande quantité des 20 combinaisons d'immersion des aviateurs de l'aéronavale américaine (référence 86). Hall a prédit des périodes de survie grâce au port de combinaisons d'immersion dans un radeau de sauvetage (référence 65) et, de l'autre côté du monde, White a mené des essais de combinaisons d'immersion en vue de trouver des combinaisons de remplacement pour les pilotes militaires australiens qui doivent piloter au-dessus du détroit de Bass séparant le continent australien de la Tasmanie (référence 173).

Tableau 2 : Résumé des données d'évaluation des combinaisons

	Imperial	QD-1 plus Preserver	Empress	Combinaison de pont
Période de tolérance, h	14	2,2	2,4	5,8
Stabilité de flottaison, visage vers le haut	Oui	Oui	Oui	Oui
Capacité de redressement automatique	Non	Oui	Non	Non
Franc bord (pouces)	3,5	5,5	3,5	3,6
Temps d'enfilage, min	0,89	1,3	0,6	0,9
Couleur, orangé ou jaune	Oui	Oui	Oui	Oui
Rétroréfléchissant	Non	Non	Non	Oui
Volume de rangement, pi^3	1	0,8	0,1	1
Fréquence d'entretien, années	5	5	5	5
Coût	75$	120$	125$	100$
Vitesse de marche, pi/min	333	370	357	333
Montée d'échelle, pi/min	77	91	100	91
Peut sortir de l'eau	Oui	Oui	Oui	Oui

L'industrie d'exploitation pétrolière en mer souhaitait également produire les meilleures combinaisons flottantes en cas de naufrage et les meilleures combinaisons pour l'équipage et les passagers d'hélicoptères. En 1978, Hayward et ses collaborateurs de l'Université de Victoria, en Colombie-Britannique, ont effectué les essais les plus importants jusqu'à maintenant au Canada sur la physiologie des personnes portant des combinaisons d'immersion (référence 72). Ils ont évalué 23 combinaisons militaires et civiles différentes. Les combinaisons ont été classées en trois catégories : combinaisons sèches avec mousse plastique à alvéoles fermées – combinaisons sèches sans mousse et combinaisons humides avec mousse plastique à alvéoles fermées. Les vingt sujets ont été immergés pendant 2 à 3 heures dans l'océan au large de Banfield, Colombie-Britannique, dans une eau à 11,8 °C. Ces combinaisons représentaient les meilleures technologies, il y a 24 ans et elles sont répertoriées au tableau 3.

Tableau 3 : Évaluation de 23 combinaisons d'immersion militaires et civiles.

Conception	Code de la combinaison (série et numéro)	Nom de la combinaison	Pays de fabrication
Sèche, sans mousse (S)	S 1	Beaufort, à habillage rapide	Angleterre
	S 2	Jeltek « Seacheater »	Angleterre
	S 3	CWU-16/P	États-Unis
	S 4	Beaufort, tissu ventilé, Mk 10	Angleterre
	S 5	Hansen, tissu ventilé	Danemark
	S 6	ILC Dover (AE1)	États-Unis
	S 7	Multifabs	Angleterre
Sèche, avec mousse (SM)	SM 1	Bayley	États-Unis
	SM 2	Fitz-Wright	Canada
	SM 3	Imperial	États-Unis
	SM 4	SIDEP "Seastep"	France
	SM 5	Multifabs (modèle avec mousse)	Angleterre
	SM 6	Helly-Hansen (D600-0)	Norvège
Humide, avec mousse (HM)	HM 1	Imperial (modèle H)	États-Unis
	HM 2	Imperial (vol)	États-Unis
	HM 3	Harvey's	États-Unis
	HM 4	CWU-33/P (à manche longue)	États-Unis
	HM 5	CWU-33/P (à manche courte)	États-Unis
	HM 6	Mustang (modèle 175)	Canada
	HM 7	Wendyco « Norwester »	Angleterre
	HM 8	Mustang « Uvic Thermofloat »	Canada
	HM 9	WF 8 plus « Sea-seat »	Canada
	HF 10	Fitz-Wright (plongeur)	Canada
Contrôle	C 1	Aucune combinaison de survie	

Comme on s'y attendait, les taux de refroidissement des personnes vêtues des combinaisons sont classés en trois catégories aussi, les combinaisons sèches bien isolées ayant le taux le plus bas (0,31 °C h-1) et les combinaisons sèches non isolées ayant le taux le plus haut (1,07 °C h-1). À la lumière de ces travaux, Hayward et coll. ont pu rédiger un guide très utile donnant le nombre d'heures pour atteindre les trois degrés d'hypothermie (27 °C, 30 °C, 33 °C) lorsqu'une personne est immergée dans de l'eau froide entre 8 et 11 °C.

Des essais opérationnels ont été menés dans des conditions réelles pour évaluer combien de temps une personne pouvait survivre dans divers types de combinaisons humides ou sèches. Les conclusions de

chaque expérience ont fait ressortir des résultats semblables. Au début, le contrôle de la qualité de combinaisons fabriquées en usine était médiocre : beaucoup de combinaisons toutes neuves étaient si peu étanches que les sujets devaient être sortis de l'eau après seulement quelques minutes; certains groupes de personnes ont même refusé de les porter. La qualité et la fiabilité des premières fermetures à glissière étaient mauvaises et le tissu ventilé s'était révélé moins extraordinaire que prévu. En outre, il était devenu évident, que pour survivre dans une eau comme celle de l'Atlantique Nord qui se réchauffait rarement au-dessus de 16 °C et qui, bien souvent, se trouvait sous les 10 °C, une combinaison sèche était essentielle. Les essais faits sur des mannequins et des sujets ont démontré que même la plus petite infiltration d'eau réduisait considérablement les valeurs clo comme c'était le cas pour la compression hydrostatique. En plus, il était très difficile de garder les mains au chaud même avec un maximum de vêtements isolants sur le corps. Jusqu'à ce moment-là, il n'y avait toujours pas de normes internationalement reconnues en matière de combinaisons d'immersion.

Par ailleurs, une demande beaucoup plus pressante pour de meilleures combinaisons provenait du secteur de l'exploitation pétrolière en mer. Sa commandite et son financement ont stimulé l'amélioration des combinaisons d'immersion au cours des 20 années subséquentes.

1980 à 2002 : L'industrie d'exploitation pétrolière en mer a besoin de combinaisons d'immersion

Vers 1980, une série complète de combinaisons de deuxième génération ont été fabriquées et mises à l'essai. Ces combinaisons étaient surtout utilisées par l'industrie d'exploitation du pétrole en mer en cas d'amerrissage d'urgence des hélicoptères et d'abandon d'un navire ou d'une plate-forme. Après l'accident de l'Alexander Kielland en 1980 et le naufrage du MS Malmi, les Norvégiens et les Finlandais ont évalué un certain nombre de combinaisons qui portaient des noms maintenant familiers comme : Aqua Suit, Bayley, Beaufort, Fitz-Wright, Helly-Hansen, Imperial, Lifeguard, Liukko, Manu, Multifabs, Nokia, Nord 15 et Shipsafe (référence 93).

De manière générale, on n'était pas encore complètement satisfait des combinaisons et les commentaires les plus fréquents étaient :

- que la position de flottaison n'était pas satisfaisante (franc bord trop faible)
- que les personnes de petite taille se perdaient presque dans la combinaison après un saut de cinq mètres dans l'eau
- qu'il y avait un manque d'étanchéité du joint entre les gants et la combinaison
- qu'une combinaison à taille unique ne fait pas à n'importe qui
- que les fermetures à glissière nécessitent un entretien régulier
- qu'il est très difficile de nager dans la combinaison
- que la combinaison laisse pénétrer l'eau ce qui, dans certains cas, peut empêcher de monter à bord du radeau de sauvetage
- que le tissu n'est pas durable
- qu'un bon entretien est nécessaire

Comme décrit au chaptire 1, en 1981, Golden et Hervey ont publié leurs travaux classiques sur la physiologie de l'immersion soudaine en eau froide (référence 56). En 1983, le prochain grand pas en avant a été la ratification de la norme SOLAS de l'Organisation maritime internationale portant sur les combinaisons doublées et non doublées (référence 85).

L'année 1986 a été une année prolifique en matière de rapports sur les combinaisons de survie, surtout parce que l'Association internationale d'ergonomie a tenu une conférence à Helsinki sur le sujet de la survie en mer et des combinaisons d'immersion. À cette réunion, Hayes (référence 68) du RAF Institute of Aviation Medicine a fourni une norme de rendement très claire et précise visant la combinaison d'immersion. Le but d'un vêtement de protection en immersion est :

- de réduire au minimum l'importance du choc dû au froid
- d'éviter l'hypothermie et les lésions dues au froid sans congélation des tissus
- de réduire la probabilité d'un effondrement post-sauvetage
- d'éviter la noyade attribuable au vent, aux vagues ou à l'immersion faciale en le combinant à un gilet de sauvetage individuel

Avery et Light du RGIT, Aberdeen (référence 13) ont analysé les problèmes relevés pendant les essais de résistance aux fuites et ont démontré qu'une bonne combinaison pouvait laisser pénétrer entre 145 et 1 398 mL d'eau. Lotens et Havenith du TNO dans les Pays-Bas (référence 104) ont examiné la ventilation des vêtements dans un effort pour améliorer le confort de la combinaison sèche. Pasche et Ilmarinen de l'Institute of Occupational Health à Helsinki (référence 129) ont passé en revue de nouveaux paramètres de température introduits par le comité de l'OMI en 1984 et les ont commentés du point de vue de la sécurité. Il faudrait accorder plus d'attention à la température de la peau pour éviter les lésions dues au froid sans congélation des tissus. Au Canada, Mekjavik et Gaul, de l'Université Simon Fraser, en Colombie-Britannique (référence 111) ont examiné le choc thermique produit par une combinaison d'immersion type que les pilotes portent lorsqu'ils survolent la mer et Sullivan et Mekjavik (référence 144) ont examiné les indices de ventilation des combinaisons en vue d'en améliorer le confort.

Les autres travaux présentés à la conférence de 1986 provenaient tous des États-Unis. Steinmann et ses collaborateurs, de l'U.S. Coast Guard (référence 140) ont examiné l'effet du mouvement des vagues sur les propriétés isolantes de huit combinaisons différentes. Ces travaux ont été exposés dans un article publié dans l'Aerospace Medical Journal (référence 141). La température de l'eau était de 11 °C et huit membres de la garde côtière se sont portés volontaires et ont été exposés à une houle de 4 à 6 pieds de hauteur avec, à l'occasion, des vagues déferlantes de 4 pieds et des vagues forcées de 2 à 3 pieds. Les combinaisons sèches ont eu un meilleur rendement que les combinaisons humides et les combinaisons les plus ajustées ont été plus efficaces que les combinaisons plus lâches. Ils sont arrivés à la conclusion que des survivants dans une mer agitée encouraient un risque beaucoup plus grand d'atteindre l'hypothermie par immersion que ne le prévoyaient auparavant les courbes prévisionnelles de survie obtenues lors d'études effectuées en eau calme.

Riley (référence 133), lui aussi de l'U.S. Coast Guard, a examiné l'idiosyncrasie de l'introduction de la nouvelle norme OMI. On voulait savoir si une combinaison d'immersion isolée pouvait se substituer au gilet de sauvetage si elle satisfaisait à toutes les normes de rendement de ce dernier. Il a fait remarquer que les combinaisons d'immersion flottantes actuelles n'avaient pas la capacité de retourner une personne inconsciente dans l'eau face vers le haut. Kaufmann et Dejinika, du Naval Air Development Centre en Australie (référence 88), ont rapporté des essais réussis de l'utilisation de combinaisons d'immersion en Gortex par 14 sujets âgés entre 21 et 40 ans dans une eau à 7,2 °C.

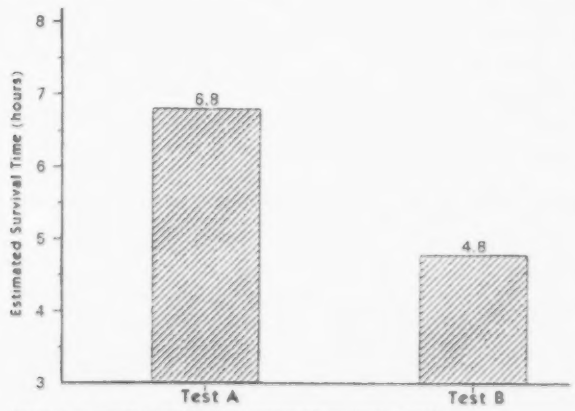
Au cours des cinq premières années de cette période, plusieurs expériences avec répétitions ont été faites avec de nouveaux tissus comme le Gortex et le Thinsulate ainsi que de nouvelles fermetures à glissière imperméables. Les résultats ont confirmé la nécessité de porter une combinaison sèche, mais la conception de la combinaison est demeurée essentiellement la même et on n'a réussi à améliorer que très légèrement le rendement thermique, principalement à cause d'une meilleure étanchéité globale des combinaisons.

Allan et ses collaborateurs (références 8 et 9) ont réexaminé la possibilité d'équiper les passagers d'hélicoptère d'une combinaison humide, dans le but de réduire l'inconfort thermique d'une combinaison à port constant. Cependant, la veste isotherme introduite par la société Shell a été par la suite délaissée lorsque Tipton et ses collaborateurs (1989) (référence 152) ont rapporté qu'elle ne protégeait pas le passager de la réaction initiale à l'immersion en eau froide, soit le choc dû au froid.

Comme les essais faits avec les humains devenaient de plus en plus coûteux et que les comités d'éthique étaient moins favorables à l'utilisation de sujets simplement pour faire l'essai de combinaisons conformément à une norme donnée, on s'est de plus en plus servi de mannequins thermosensibles pour ce travail. À la suite de l'accident de l'Ocean Ranger en 1982, au large des Grands Bancs de Terre-Neuve, le Canada a mis en vigueur des normes visant les combinaisons flottantes en cas de naufrage (ONGC 1999) (référence 34) et les combinaisons pour les passagers d'hélicoptère (ONGC 1999) (référence 33) dans lesquelles apparaissaient des essais d'isolation thermique élaborés pour des mannequins thermosensibles.

Jusqu'à maintenant, on a remarqué que l'équipement utilisé tant pour les opérations militaires que commerciales s'est comporté de manière « étonnamment mauvaise » lors d'accidents réels. Chaque année, on rapporte près de 140 000 décès en mer. Comment cela est-il possible puisqu'il existe un éventail aussi vaste d'essais et de règlements qui, en théorie, devraient permettre d'éviter cela? La réponse est qu'un grand nombre de ces essais sont inutiles et ne tiennent pas compte des conditions réelles. Les essais devraient, soit recréer les difficultés qui doivent être contournées, soit les conditions environnementales qui auraient pu exister pendant l'accident, soit permettre de prédire la dégradation de la situation qui pourrait se produire dans les conditions les plus difficiles. En 1995, Tipton (référence 158) a démontré cela très clairement avec un groupe de douze sujets qui ont subi deux immersions en portant des vêtements identiques dans deux essais : l'essai A et l'essai B. Cependant, au cours de l'essai B, on a introduit par simulation un vent de 6 noeuds, des vagues de 15 cm et une pluie d'intensité de 36 L/h de même qu'une période d'immersion initiale de 15 secondes. La période de survie estimée a été réduite de 6,8 heures obtenues avec l'essai A à 4,8 heures avec l'essai B (figure 9).

Figure 9 : Période de survie estimée avec et sans simulation de mauvais temps



Test A = Test B with the exception that wind, waves, simulated rain and an initial period of submersion were used in Test B

Estimated Survival Time (hours)=
Période de survie estimée (heures)
Test A= Essai A
Test B= Essai B
Test A = Test B with the exception that wind, waves, simulated rain and initial period of submersion were used in Test B = Essai A = Essai B sauf que dans le cas de l'essai B on a simulé du vent, des vagues, de la pluie et introduit une période initiale d'immersion

(Courtoisie du Journal of the R.N Medical Services)

Le lecteur peut consulter un certain nombre d'articles scientifiques qui portent sur cette période. Light et coll. (1980) (référence 101) ont commencé une série d'études d'immersion au RGIT, à Aberdeen, pour le compte de l'industrie d'exploitation pétrolière en mer. Hampton, de la société Leeds (1981) (référence 65) a rapporté des résultats d'essais sur des combinaisons d'immersion de plus grande portée pour le compte de l'industrie d'exploitation pétrolière en mer. Baker a continué ses travaux en améliorant la combinaison de sauvetage des équipages de sous-marins de la Royal Navy (1987 et 1988) (références 14 et 15). Hermann de l'Institute of Occupational Medicine à Hambourg (1988) (référence 75) a mis en garde les exploitants de l'incompatibilité d'une combinaison de survie et d'un gilet de sauvetage. Après l'échec d'Allen (1964) (référence 10) de trouver une bonne combinaison d'immersion de remplacement pour l'aviation canadienne, Hynes et ses collaborateurs de l'IMED (1985) (référence 82) ont mis à l'essai toute une série de nouveaux vêtements améliorés. Une nouvelle combinaison a finalement été choisie en 1989 par Sturgeon (référence 143).

Ilmarinen et ses collaborateurs (1981 et 1984) (références 83 et 84) ont fait l'essai d'une série de combinaisons de sauvetage en cas d'abandon de navire et de combinaisons pour des passagers d'hélicoptère pour le compte de la Finnish Board of Navigation et de l'industrie d'exploitation pétrolière en mer. Kaufman et ses collaborateurs de la U.S. Navy (1984) (référence 87) ont recueilli des données sur le nouveau tissu Gortex et les doublures Thinsulate. En Norvège, Langhaug et ses collaborateurs (1982) (référence 93) ont poursuivi des travaux sur l'évaluation de combinaisons d'immersion et, en Suède, Larsson et ses collaborateurs (1991) (référence 94) ont proposé des modifications de la combinaison d'immersion Mk 8 pour les équipages de sous-marins de la Royal Navy. Pasche et ses col-

laborateurs (1982 et 1984) (références 127 et 128) ont entrepris une série d'expériences sur des combinaisons d'immersion au centre de recherche Nutec, à Bergen, en Norvège, et ont examiné l'effet très dommageable qu'une infiltration d'eau peut avoir sur la valeur d'isolation. Romet et ses collaborateurs de l'IMED, à Toronto (1991) (référence 134), ont comparé la valeur clo en état d'immersion des combinaisons mesurée sur des sujets et sur le mannequin CORD.

En examinant l'ensemble des essais qui ont été faits sur les combinaisons d'immersion depuis 1945, on constate, à première vue, que d'énormes sommes ont été gaspillées, ces 45 dernières années en dédoublement d'équipement et de matériel technique. En plus de cela, la rivalité entre les services, entre les établissements et entre les pays a ralenti considérablement l'acquisition de connaissances sur la physiologie en eau froide. Un effort international coordonné entre les secteurs militaire et commercial aurait probablement permis de progresser plus vite et à moindre coût et empêché que des sujets stoïques ne ressentent des conséquences néfastes a posteriori.

De subtiles raisons expliquent pourquoi les progrès ont été très lents au sein du groupe de travail de l'OMI. La première est que les membres qui étaient désignés pour y participer étaient souvent très peu connaissants dans le domaine de la physiologie en eau froide et ils étaient incapables de prendre les bonnes décisions. En outre, beaucoup de nations sont arrivées avec un calendrier préalable régi par leur industrie nationale. En conséquence, il a fallu faire beaucoup de compromis. La seule décision pratique qui a été prise est qu'une température centrale du corps de 35 °C représentait un cas d'hypothermie, par conséquent, l'isolation de la combinaison d'immersion devrait empêcher qu'un sujet d'essai homéotherme ne se refroidisse de plus de 2 °C dans une eau à 2 °C après six heures d'immersion.

Résumé du chapitre 2

Ce chapitre a présenté les aspects pratiques des différentes tentatives de fabrication de la meilleure combinaison d'immersion.

- Ce n'est que vers le milieu de la Seconde Guerre mondiale que le Royaume-Uni et l'Allemagne ont compris qu'il y avait un problème avec l'immersion soudaine en eau froide. Jusqu'à 1945, on n'utilisait que des combinaisons rudimentaires. Cependant, en 1941, Gagge et coll. ont franchi la première étape en définissant la valeur clo pour l'isolation de vêtements.
- La recherche d'après-guerre sur les statistiques de survie effectuée par le comité Talbot et les scientifiques McCance et collaborateurs a révélé que le problème était plus grave qu'on ne l'imaginait tout d'abord. Les forces militaires américaines n'ont été convaincues de l'existence d'un problème qu'après la guerre de Corée.
- Plusieurs articles scientifiques et manuels cruciaux sont cités comme lecture obligatoire pour toute personne qui étudie la survie en mer et son application aux combinaisons d'immersion comme l'effet des infiltrations d'eau, la compression hydrostatique sur la combinaison, la valeur clo et la difficulté de protéger les mains.
- La reconnaissance du problème a lancé la recherche principalement dans les pays maritimes qui avaient des activités commerciales en eau froide. La première génération de combinaisons d'après-guerre ne répondait pas aux attentes, elles étaient chaudes, encombrantes et laissaient pénétrer énormément d'eau. Ce mauvais rendement était surtout attribuable à la mauvaise qualité des tissus, aux joints de poignets et de cou inefficaces, aux fermetures à glissière non étanches et au mauvais contrôle de la qualité dans le processus de fabrication.
- Vers le milieu des années 1980, dans la foulée des normes de l'OMI relatives aux combinaisons d'immersion et de la demande accrue de l'industrie de l'exploitation pétrolière en mer pour une meilleure qualité, l'amélioration des tissus, des matériaux isolants, des fermetures à glissière étanches et un meilleur contrôle de la qualité ont permis d'améliorer la conception et la fiabilité des combinaisons. Cela se reflète aussi dans le nombre d'articles publiés en physiologie appliquée au cours de cette période. Néanmoins, il y aurait eu des progrès beaucoup plus rapides s'il y avait eu plus tôt un effort conjoint international entre les secteurs militaire et commercial pour tenter de trouver des solutions au problème.

CHAPITRE 3

PRINCIPAUX PROBLÈMES MATÉRIELS DANS LA CONCEPTION ET L'ESSAI DES COMBINAISONS D'IMMERSION

Études des effets de l'infiltration d'eau : Pourquoi est-ce si important de rester au sec?

Le chapitre 1 expliquait le phénomène physique important que, dans l'eau la chaleur du corps se dissipe environ 25 fois plus rapidement que dans l'air. Cependant, en raison de la réaction physiologique évoquée, à température égale, les humains se refroidissent deux à cinq fois plus vite dans l'eau que dans l'air. Néanmoins, si la combinaison d'immersion sèche manque d'étanchéité, il se produit une importante diminution de la valeur clo ou valeur d'isolation. En 1956, Hall et Polte (référence 62) ont été les premiers à démontrer ce phénomène avec un mannequin thermosensible. Pour un homme de taille moyenne jusqu'à 1,8 m, une infiltration d'eau de 1 620 grammes entraînerait une réduction de 50 % de son isolation.

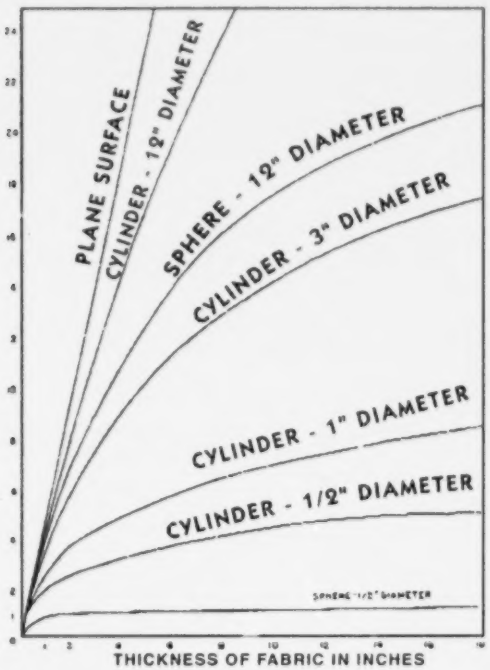
En 1984, ces travaux ont été approfondis par Allan (références 6 et 7) et Allan et coll. en 1985 (référence 8). Ils ont fait la preuve qu'une infiltration aussi petite que 500 grammes d'eau dans une combinaison sèche réduisait l'isolation de 30 %! Ils ont alors prescrit un nouvel essai d'infiltration d'eau de combinaisons d'immersion qui constituait une version modifiée de l'essai initial de 23 minutes décrit par Ernsting en 1966. L'essai initial exigeait que le sujet saute dans une piscine, après quoi il devait nager pendant trois minutes et flotter de manière passive pendant 20 minutes avec un gilet de sauvetage. Après cette période, l'infiltration d'eau ne devait pas dépasser 500 grammes. En 1982, la valeur de l'infiltration admissible était réduite à 200 grammes. La raison évoquée était qu'une infiltration de 500 grammes était probablement acceptable pour survivre une heure à 5 °C, mais pas plus longtemps. Le nouvel essai d'Allan exigeait un saut, suivi de 20 minutes de nage ou de 20 minutes dans une cuve à houle. Le but de l'essai était d'assurer que les fermetures de la combinaison et les joints de poignets et de cou étaient entièrement étanches à l'eau (référence 6). Malheureusement, les fabricants n'avaient pas encore maîtrisé cet élément important et le contrôle de la qualité des combinaisons n'était pas encore assez bon, de sorte qu'elles continuaient d'échouer les essais thermiques.

Pourquoi est-il si difficile de garder les doigts au chaud?

Les raisons pour cela ont été très bien expliquées par Beckman et ses collaborateurs en 1966 (référence 18) dans leur étude sur la perte de chaleur corporelle d'un équipage d'aéronef soumis à une immersion dans l'eau. Le passage ci-dessus est directement tiré de leur article dans la revue Aerospace Medicine d'avril 1966 et résume les travaux préliminaires effectués par Newburgh, Spealman et Van Dilla dans les années 1940 (référence 119).

Les indices d'isolation des matériaux sont normalement décrits en termes d'isolation d'une surface plane. Bien que l'indice d'isolation d'un matériau sur une surface plane soit directement lié à son épaisseur, la relation n'est pas si simple en ce qui concerne des formes comme des cylindres et des sphères. La relation entre l'épaisseur d'un tissu en pouces avec la valeur effective d'isolation en clo est présentée à la figure 10. On constate, à la ligne du bas de ce graphique, que l'épaisseur du tissu isolant entourant une sphère d'un demi-pouce de diamètre est augmentée de manière linéaire, l'indice d'isolation n'a augmenté que légèrement et aucune augmentation significative de l'indice n'est fournie en augmentant l'épaisseur du tissu au-delà d'un pouce. L'effet isolant de l'augmentation de l'épaisseur d'un tissu isolant autour d'un cylindre de un demi pouce de diamètre n'est que légèrement supérieur à celui d'une sphère. La figure illustre pourquoi c'est difficile, sinon impossible, d'assurer une isolation adéquate à d'aussi petits cylindres que les orteils et les doigts. Il est connu depuis longtemps qu'il est quasi impossible d'isoler adéquatement les doigts et les mains avec des gants dans un climat arctique extrêmement froid. Pour cette raison, des moufles plutôt que des gants ont été fournies de sorte que les doigts et les mains peuvent être rassemblés en boule pour améliorer leur rapport surface-masse. Une solution théorique au problème de fournir l'isolation adéquate aux soldats en service dans l'Arctique dans une température aussi basse que -50 °C avec un vent de 30 noeuds a été proposée par van Dilla et ses collaborateurs. Le problème est aussi grand lorsqu'il s'agit d'assurer une isolation thermique adéquate à des personnes immergées dans une eau glaciale.

Figure 10 : **Isolation d'un tissu idéal sur une surface plane et sur des cylindres et des sphères.**

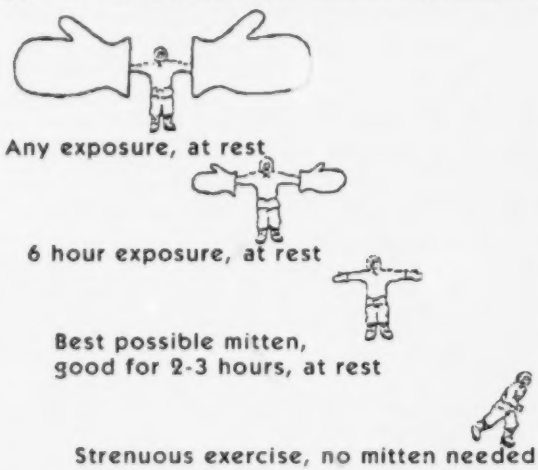


Plane surface = **Surface plane**
Cylinder – 12" diameter = **Cylindre, 12 po de diamètre**
Sphere - 12" diameter = **Sphère, 12 po de diamètre**
Cylinder - 3" diameter = **Cylindre, 3 po de diamètre**
Cylinder - 1" diameter = **Cylindre, 1 po de diamètre**
Cylinder – _" diameter = **Cylindre, _ po de diamètre**
Sphere – _" diameter = **Sphère, _ po de diamètre**
Thickness of fabric in inches = **Épaisseur du tissu en pouces**

(D'après Van Dilla, Day et Siple dans Newburgh - Physiology of Heat Regulation. 1968, Hafner Publishing Co.)

À cause de ces facteurs matériels, il est très difficile d'isoler les doigts. Van Dilla a élaboré un schéma simple (figure 11) pour montrer la taille relative des moufles nécessaires pour isoler les mains dans différentes intensités de travail.

Figure 11 : **Taille relative des moufles nécessaires pour différentes périodes d'exposition à –20 °F**

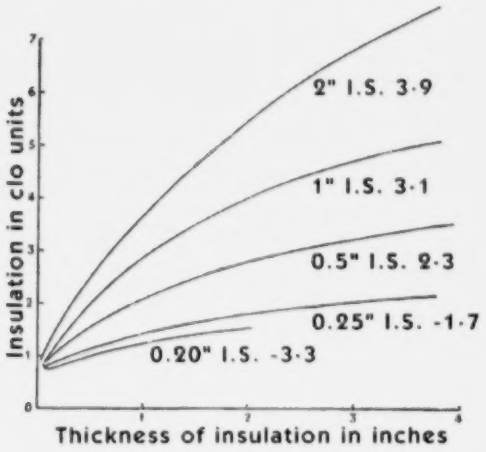


Any exposure, at rest = **Toute exposition, au repos**
6 hour exposure, at rest = **6 heures d'exposition, au repos**
Best possible mittens, good for 2-3 hours, at rest = **Meilleure grandeur de moufles, exposition de 2 à 3 heures, au repos**
Standing exercice, no mitten needed = **Exercice debout, aucune moufle nécessaire**

(D'après Van Dilla, Day et Siple dans Newburgh - Physiology of Heat Regulation. 1968, Hafner Publishing Co.)

De plus, Burton et Edholm (1955) (référence 32) ont judicieusement fait remarquer que les spécialistes en ventilation savaient depuis longtemps qu'isoler des cylindres de très petit diamètre entraînait en réalité une diminution de l'indice d'isolation (figure 12).

Figure 12 : Isolation thermique locale



Insulation in clo units = Isolation en unités clo
Thickness of insulation in inches = Épaisseur d'isolation en pouces
2" 1" 0.5" 0.25" = po 1 po 0,5 po 0,25 po

(D'après Burton, Edholm, Man in a Cold Environment)

Enfin, Hall et ses collaborateurs (1954) (référence 61) avaient déjà remarqué que l'isolation du corps avait très peu d'effet sur le refroidissement des mains même lorsqu'un vêtement avec un indice d'isolation maximal de 4,7 clo était porté. Donc, se recroqueviller n'a aucun effet à moins que la personne n'augmente son niveau de chaleur interne en faisant de l'exercice comme l'illustre magnifiquement la figure 11.

Pourquoi les combinaisons sèches sont-elles aussi inconfortables à porter en permanence?

Chaque jour, même au repos, l'homme perd approximativement 500 à 800 mL de liquide à travers la peau. Ce phénomène se nomme « transpiration imperceptible ». Il n'était pas inconnu des pilotes des avions de surveillance de l'aviation canadienne qui devaient survoler les eaux froides du nord au large de Terre-Neuve au mois de juin et qui devaient vider un litre de transpiration accumulée dans leur combinaison d'immersion à port constant de retour d'une mission garde-pêche de six heures. En conséquence, le Royal Navy Institute of Naval Medicine évalue présentement que le port constant d'une combinaison pendant une exposition de six heures à une température de 20 °C en faisant un exercice léger intermittent, suivi d'une immersion de 30 minutes dans une eau à 4 °C entraîne l'accumulation de plus d'un litre de sueur dans les pieds des combinaisons imperméables, mais les combinaisons perméables à la vapeur demeurent presque sèches à l'intérieur.

À moins d'être bien ventilée par l'ouverture des manchettes, des joints de cou et des pieds pour aider à évacuer cette couche d'humidité chaude proche de la peau, la combinaison sera trop chaude et difficile à porter. Berglund (1966) (référence 23) a examiné le sujet du confort thermique et l'effet du vêtement. Il a remarqué que les humains sont très sensibles à l'humidité de la peau et que leur perception du degré d'humidité entre sec et très mouillé était très proche des résultats obtenus lorsqu'on mesure le degré d'humidité de la peau. On ne sait pas encore très bien comment l'humain perçoit cette humidité de la peau, mais il faut savoir que l'humidité sur la peau supérieure à 30 % augmente la friction entre la peau et les vêtements et contribue à l'inconfort.

Il n'est pas dans l'étendue des travaux du présent rapport d'étudier la physique du vêtement. Pour de plus amples renseignements sur le sujet, on suggère au lecteur de lire l'excellente étude du groupe 7 de l'OTAN, Handbook of Clothing: Biomedical Effects of Military Clothing and Equipment Systems en complétant avec des articles écrits par Goldman, Lotens et Vangaard (référence 117).

Les effets du mouvement des vagues sur l'isolation des combinaisons d'immersion

La plupart des premiers essais effectués sur des combinaisons d'immersion était faits dans des bacs

à eau froide où l'eau était légèrement agitée. En effet, la recherche était menée dans des départements de physiologie d'universités qui n'avaient pas accès à des cuves à houle ou à de grandes piscines. Même si on le savait depuis longtemps, c'est probablement Goldman et ses collaborateurs qui, en 1966, ont été les premiers à mentionner et à consigner avec précision qu'il y avait une différence de comportement entre l'isolation de vêtements dans une eau turbulente par rapport à une eau calme. La baisse d'isolation d'une combinaison humide, lorsque mesurée sur un mannequin, était de 0,76 à 0,71 clo (référence 58). Puis, Steinmann et ses collaborateurs (1987) ont démontré que le taux de refroidissement de la température centrale et la baisse de la température de la peau des sujets humains étaient considérablement plus importants en eau houleuse qu'en eau calme. De telles différences ont été observées pour des combinaisons humides à ajustement lâche et non pour des combinaisons humides ou sèches à ajustement serré (référence 141).

Plus tard, en 1991, Romet et ses collaborateurs (référence 134) ont corroboré l'étude de Steinmann en rapportant une réduction significative de l'isolation de la combinaison d'immersion humide dans de l'eau turbulente par rapport à l'eau calme de 29,7 % en moyenne lorsque mesurée sur des humains. En 1994, Sowood et coll. (référence 137) ont signalé une réduction de 30 % de l'isolation d'une combinaison sèche lorsque mesurée sur un mannequin placé dans l'eau avec des vagues de 60 cm par rapport à une eau calme.

Et puis, en 1995, Ducharme et Brooks (référence 42) ont examiné l'effet de vagues de 70 cm de hauteur sur l'isolation d'une combinaison sèche portée par un sujet. Ils en ont conclu que la perte d'isolation allait de 14 à 17 % sur des sujets et qu'elle était de 36 % sur des mannequins. Ils recommandaient que les modèles mathématiques futurs reconnaissent ce fait, que la conception des mannequins thermosensibles soit faite pour se rapprocher le plus possible de la position de flottaison d'un humain dans l'eau et que des études soient entreprises avec des vagues plus hautes. Ces observations ont aussi été faites un peu plus tard, lorsque la marine canadienne a entrepris des essais en mer au large du port de Halifax en 1996. Six sujets ont été immergés dans des eaux de mer à 2,5 °C avec des vagues d'une hauteur de deux mètres. À la fin de l'immersion, les combinaisons sèches avaient une isolation moyenne de 1,24 clo en état d'immersion, ce qui n'était pas très différent des valeurs obtenues avec les mêmes combinaisons dans des vagues de 60 à 70 cm. Donc, pour le moment, jusqu'à ce que quelqu'un mène des expériences avec des hauteurs de vague supérieures, l'hypothèse est que la perte d'isolation d'une combinaison se stabilise à 15 % à une hauteur de vague d'environ un mètre (référence 30).

Quel est le degré de flottaison admissible pour une combinaison destinée à l'équipage ou aux passagers d'hélicoptères?

Ce qui est particulier à l'équipage et aux passagers d'un hélicoptère qui survole l'eau est la possibilité d'un amerrissage forcé et d'un retournement rapide de l'aéronef. Les combinaisons d'immersion actuelles ont recours à des coussinets d'air emprisonnés entre les couches du vêtement pour assurer l'isolation thermique. Cette méthode d'isolation rend la combinaison très flottante. Par ailleurs, si la combinaison est trop flottante, il devient impossible de s'échapper d'un hélicoptère qui s'est abîmé en mer et retourné et qui rempli d'eau.

Le problème a été étudié par Brooks et Provencher au cours de trois expériences menées à l'IMED en 1984 (référence 27). La première expérience visait à déterminer comment mesurer l'insubmersibilité d'une combinaison d'immersion lorsqu'elle était inversée sous l'eau. Cela a mené à l'invention d'une chaise de pesage sous-marine spécialement à cette fin. C'est maintenant un appareillage courant utilisé pour les essais de la norme de l'Office des normes générales du Canada de 1999 relative aux combinaisons pour passagers d'hélicoptères (référence 33). La deuxième expérience a été menée dans l'installation de plongée profonde de l'IMED. On y a reconstitué la maquette d'un siège de passager et d'une sortie de secours d'un hélicoptère Sea King inondé. Le but était de déterminer quel degré de flottaison maximale empêcherait une personne assise à l'envers dans un hélicoptère abîmé en mer de détacher la ceinture du siège et de s'extirper par le sas d'urgence. Sept plongeurs-démineurs ont

effectué la manoeuvre vêtus d'un T-shirt et d'un pantalon de coton. Après chaque évacuation réussie, on ajoutait un peu plus de flottaison jusqu'à ce que le plongeur ne puisse plus s'échapper et qu'il doive simplement rester dans le siège inversé à respirer dans son détendeur. Les résultats ont montré qu'une très vaste gamme de flottabilités posait des problèmes. L'impossibilité à évacuer se produisait entre 36 et 57 livres de flottabilité ajoutée. On a établi que le plongeur le plus costaud et le plus fort ayant les bras les plus longs était physiquement écrasé contre le siège avec 57 livres de flottabilité. Cette valeur a donc constitué la limite admissible supérieure absolue de flottabilité.

La troisième expérience a été faite dans une piscine ouverte avec les mêmes plongeurs (comme contrôles) et aussi avec des personnes qui n'étaient pas plongeurs. Le but était d'étudier l'effet d'un petit peu plus d'espace pour manoeuvrer que celui que procure une chambre de plongée et aussi, de voir s'il y avait une différence avec des sujets qui n'étaient pas plongeurs, des deux sexes, de stature plus petite, dotés d'une force moins grande du haut du corps et d'une portée des bras plus courte. Les plongeurs ont réussi l'expérience un peu mieux, les niveaux de flottabilité ajoutés auxquels se produisait une incapacité étaient de 39 à 60 lb. Cependant, les personnes ordinaires étaient beaucoup plus gênées par une flottabilité ajoutée et l'incapacité survenait entre 19 et 40 lb. La principale différence étant le niveau de confort sous l'eau, la hauteur, la portée, la force du torse et une portée des bras plus courte. La limite initiale de 20 lb a été établie pour la flottabilité inhérente, mais avec cette limite, les exigences thermiques de la combinaison ne pourraient pas être satisfaites. Des essais ont alors été faits dans un simulateur sous-marin d'évacuation d'hélicoptère dans les laboratoires de Survival Systems Limited en utilisant la combinaison prototype fabriquée conformément aux exigences de la nouvelle norme de l'ONGC. Tous les étudiants ont réussi l'évacuation sans problème avec une flottabilité inhérente de 35 lb. Pour aider les fabricants à respecter l'exigence thermique, la norme initiale de 35 lb (150 N) a finalement été fixée à 42 lb (175 N). Voilà un bon exemple montrant que les personnes engagées dans l'élaboration de normes peuvent réussir à régler un problème pratique.

Angle de flottaison

Comme il a été mentionné précédemment, l'angle de flottaison idéal pour le corps est de 45° par rapport aux vagues venant en sens inverse. Cependant, la flottabilité ajoutée aux combinaisons pour protéger les personnes contre l'hypothermie empêche d'atteindre cette position. La majorité des gens adoptent une position horizontale dans l'eau (figures 13 et 14). Ce problème a certainement été connu depuis la Seconde Guerre mondiale, Smith (référence 136) y faisait allusion, mais il n'a pas été officiellement reconnu jusqu'à la présentation faite par McDonald au Robert Gordon Institute (RGIT) en 1983 : « La flottabilité totale d'un très gros pourcentage de combinaisons thermiques de protection annule la capacité de redressement automatique des gilets de sauvetage approuvés. Les combinaisons conçues avec une flottabilité inhérente ne montrent pas non plus de potentiel de redressement automatique, en fait la plupart d'entre elles sont aussi stables lorsque la personne a le visage vers le bas ou vers le haut. » Par conséquent, ce ne sera qu'en modifiant la conception de base par l'intégration de l'ensemble du système que l'on pourra améliorer l'angle de flottaison pour la prochaine génération de combinaisons.

Figure 13 : Le problème de l'angle de flottaison incorrect lorsqu'une personne porte une combinaison d'immersion était connu au moins depuis les essais effectués à l'Institution of Aviation Medicine de la Royal Canadian Air Force, à Toronto en 1944.

Figure 14 : Groupe de sujets dans le fjord Bergen (1986) ayant terminé d'évacuer un hélicoptère à la nage et sur le point de monter à bord d'un radeau de sauvetage. Remarquer leur position de flottaison dans l'eau.

Mesure de l'isolation des vêtements

La mesure de l'isolation conçue par Gagge et ses collaborateurs en 1941 (référence 47) est la valeur clo. Cette valeur peut être mesurée à l'aide de sujets et de mannequins thermosensibles.

En gros, la chaleur (H) circule d'un point où la température est élevée (T1) à un point où la température est basse (T2) conformément à la formule suivante

$$H = k (T_1 - T_2)$$

où k est une constante appelée conductance qui représente la facilité avec laquelle la chaleur circule. La réciproque de la conductance (1/k) représente ainsi la résistance thermique au flux de chaleur ou isolation (I) d'un matériau. L'isolation peut donc être évaluée à l'aide de la formule :

$$I = \frac{T_1 - T_2}{H}$$

Si T_1 représente la température de la peau par rapport à la surface et que T_2 = la température de la surface par rapport à l'eau et H la chaleur perdue à travers les vêtements, l'isolation du vêtement peut être calculée.

Avec un mannequin, H est représentée par l'électricité nécessaire pour faire fonctionner le mannequin. Lorsqu'il s'agit d'un humain, la production de chaleur par le métabolisme moins la chaleur perdue pendant la respiration est présumée représenter la déperdition de la chaleur lorsque la température du corps ne change pas (c.-à-d. dans un état stable) (Tipton et Balmi, 1996) (référence 159). Si la température du corps est en train de baisser, il faut tenir compte de cette perte de chaleur additionnelle. Par ailleurs, des capteurs qui mesurent le flux thermique peuvent être placés à la surface du corps, sous une combinaison, pour mesurer la chaleur qui s'échappe du corps dans l'eau à travers les vêtements (Bell et coll., 1985) (référence 21).

Il y a des avantages et des désavantages liés à l'utilisation d'êtres humains et de mannequins. Par exemple, se servir de sujets humains entraîne des responsabilités médicales et éthiques. Le fait de ne pas estimer ou mesurer précisément la température moyenne de la peau, la production de chaleur et le flux thermique peut entraîner des erreurs, de même que l'estimation des variations de la chaleur stockée par une personne au moment où se produit une baisse de la température centrale du corps. Par ailleurs, les essais faits avec des êtres humains sont plus représentatifs en ce qui concerne la position dans l'eau et le confort de la combinaison. Il est subjectivement et objectivement plus facile de repérer des variations locales de la perte de chaleur et d'isolation (« c'est plus froid ici »). En outre, comme un état stable n'est pas nécessaire, les chutes de température corporelle peuvent être prises en compte, la technique du flux thermique est rapide et peut être utilisée pour mesurer l'effet du mouvement, comme la nage, chez l'être humain. La technique utilisant des êtres humains permet également de mesurer la température corporelle centrale et, par conséquent, l'isolation qui est directement liée à cette variable.

Les avantages de l'utilisation de mannequins sont d'éviter les aspects médicaux et éthiques associés aux essais faits avec les êtres humains, de faciliter la logistique et de permettre une meilleure reproductibilité. Les autres avantages sont :

a) un mannequin peut être immergé un nombre illimité de fois dans l'eau;
b) les essais avec les mannequins permettent de réaliser une isolation segmentaire précise conformément à des principes techniques stricts;

c) il n'y a aucune limite à la température de l'eau;
d) l'angle du mannequin dans l'eau est constant ainsi que la valeur clo pour chaque combinaison et il est possible de faire des essais comparatifs entre différentes conceptions de combinaisons;
e) les combinaisons peuvent être mises à l'essai dans des conditions[9] plus difficiles que celles de la mer de Beaufort 3 ;
f) les coûts des essais pour chaque combinaison sont relativement bas;
g) des améliorations subtiles de la conception d'une combinaison pour améliorer la valeur clo peuvent être observées sur le mannequin et l'on peut faire de nombreux tests convergents. Ces améliorations ne peuvent être observées qu'avec de petits groupes d'êtres humains qui ont des réactions physiologiques différentes aux mêmes conditions;
h) tous les essais thermiques en ambiance froide peuvent être menés sur le mannequin, même si les essais de résistance aux fuites et les essais ergonomiques peuvent toujours être faits avec des êtres humains dans de l'eau tiède.

Parmi les inconvénients de cette méthode, il y a l'erreur que de nombreuses personnes font de penser que les mannequins réagissent comme des humains, alors que ce n'est pas le cas (aucune vasoconstriction et la production, la diffusion et, par conséquent, la distribution de la chaleur dans les différentes parties du corps sont différentes). Les résultats obtenus avec des mannequins peuvent donc être mal interprétés. Une autre faiblesse de cette technique est que pour faire un lien entre l'isolation mesurée sur un mannequin et les changements dans la température corporelle centrale, il faut utiliser un modèle mathématique avec toutes les hypothèses et les limites que cela sous-entend. Il faut effectuer d'autres études pour valider ces hypothèses.

Même si nous avons fait de grands progrès dans l'état de nos connaissances, les trois désavantages des essais avec mannequins sont surtout liés au fait qu'un mannequin n'est pas articulé comme un être humain et que, par conséquent, il ne peut se comporter de la même façon dans les vagues. Le mannequin ne respire pas ni n'a besoin de garder hors de l'eau ses cavités oro-nasales. De plus le phénomène de la vasoconstriction est inexistant chez le mannequin. Si les deux premières constatations sont examinées plus à fond, on constate qu'un être humain dans une posture souple à la surface de l'eau aura tendance à conserver une plus grande partie de sa poitrine hors de l'eau par unité de temps que le mannequin. Cela se traduit par une compression hydrostatique moindre, surtout sur le devant de la combinaison et, à un plus faible degré, sur l'arrière de la combinaison. Il faut en conclure que les résultats obtenus avec les mannequins seront plus pessimistes que ceux réalisés avec des êtres humains. Ce n'est pas particulièrement mauvais, car cela signifie que les erreurs qui se produisent dans les résultats obtenus avec les mannequins seraient plutôt conservatrices, par contre, l'aspect négatif est qu'une combinaison fondamentalement bonne et conforme aux exigences de protection thermique pourrait être rejetée lors des essais de conformité à une norme. Romet et coll. (1991) (référence 134) ont tiré les conclusions qu'il n'y avait aucune différence significative entre la valeur clo de combinaisons mesurée sur des êtres humains ou sur des mannequins lorsque les essais étaient effectués dans une eau froide remuée, par contre avec des vagues, les écarts étaient considérables.

Cette situation a été reconnue par Allan (1985) (référence 5) lorsqu'il a le premier persuadé l'organisme de réglementation britannique d'accepter les essais sur mannequins pour remplacer les essais sur sujets humains. Il a rencontré de la résistance de la part de la vieille garde qui ne voulait pas renoncer à voir six sujets assis dans une eau à 2 °C pendant six heures. Il a fait valoir assez justement que les résultats des essais sur mannequins seraient, en réalité, plus sévères que ceux faits avec les humains et que l'erreur serait plutôt conservatrice. En d'autres mots, si la combinaison réussissait l'essai sur mannequin, elle réussirait certainement l'essai avec le sujet le plus mince.

Il n'y a aucun doute que c'était une très bonne décision d'introduire les essais sur des mannequins dans les normes canadiennes visant les combinaisons

[9]Les conditions de mer Beaufort 3 (vitesse des vents : 7 à 10 kt, 8 à 12 m/h, 13 à 19 km/h) Brise légère : les feuilles et les ramilles bougent. Les drapeaux légers battent au vent. De longues vaguelettes, crêtes des vagues miroitantes.

d'immersion. Grâce à cela, la deuxième génération de combinaisons est beaucoup mieux conçue et fabriquée que la première génération et lorsqu'elle est bien entretenue, elle est parfaitement étanche. Cependant, lorsqu'on a introduit les essais sur les mannequins, on s'attendait à recevoir le financement nécessaire pour continuer l'étude du lien thermique entre le mannequin et l'être humain, malheureusement cela n'a pas été le cas. Actuellement, on additionne la valeur en clo pour donner une moyenne générale et c'est cette moyenne qui est utilisée dans les diverses normes et spécifications partout dans le monde. Cependant, l'utilisation d'une valeur moyenne exclut les données segmentaires et peut être trompeuse. La possibilité de faire une erreur survient lorsque les résultats obtenus sur un mannequin pour la valeur moyenne d'isolation externe globale sont utilisés pour prendre des décisions quant à la pertinence des combinaisons d'immersion destinées aux êtres humains. Avec les mannequins, les valeurs moyennes élevées d'isolation peuvent être obtenues plus facilement en veillant à ce qu'une combinaison d'immersion procure un degré d'isolation au moins aussi grand et, de préférence, supérieur sur les membres plutôt que sur le torse. Cependant, comme nous l'avons mentionné plus tôt, en cas d'immersion en eau froide, le phénomène de la vasoconstriction, chez l'être humain, réduit la perte de chaleur aux extrémités et la déperdition de chaleur se fait surtout par conduction au niveau du torse. Par conséquent, il arrive que des combinaisons soient approuvées à la suite d'essais thermiques sur des mannequins thermosensibles qui ne sont pas nécessairement conçus en fonction des caractéristiques de survie des hommes, comme la nécessité de concentrer l'isolation sur le torse. Ce problème pourrait être facilement réglé en établissant différents critères de réussite des essais d'isolation du torse (plus haut) comparativement aux membres (plus bas) (Tipton et Balmi, 1996) (référence 159).

En réaction aux problèmes qui ont été constatés avec l'utilisation de mannequins, certains organismes (p. ex. CEN, ISO) ont recommandé d'effectuer des essais en eau froide avec des sujets. Au lieu de mesurer l'isolation, on mesure la température corporelle centrale et, pour être acceptée dans sa catégorie, une combinaison doit empêcher une certaine baisse de température corporelle centrale en une période de temps donnée. Même si cette démarche est attrayante parce qu'elle exige de mesurer directement l'influence d'une combinaison sur des variables clés comme la température corporelle centrale, elle comporte également certains inconvénients, entre autres :

a) il est souvent difficile de faire asseoir des sujets dans une eau à 2 °C pendant six heures. Donc, le nombre de sujets à qui s'appliquent ces statistiques peut être très petit. C'est l'une des raisons pour lesquelles toutes les expériences jusqu'à maintenant ont été effectuées avec un petit nombre de sujets;
b) les sujets ne se comportent pas tous de la même manière en eau froide, en effet, certaines personnes se refroidissent plus vite que d'autres. Donc, en choisissant des sujets qui se refroidissent lentement, on fait en sorte que la combinaison soit acceptée lors des essais, alors que le fait de choisir des sujets qui se refroidissent rapidement entraîne le rejet de la combinaison;
c) il est important de ne pas choisir des sujets qui sont acclimatés au froid;
d) l'utilisation de sujets est très coûteuse en raison des exigences liées à l'éthique, aux services de médecins sur place, etc.;
e) pour évaluer les combinaisons qui pourraient échouer les essais, il est possible qu'on provoque des lésions dues au froid sans congélation des tissus chez les sujets, donc, en ce qui concerne les aspects éthiques et moraux, les comités d'éthique sont de moins en moins favorables à ce genre d'expériences dans le simple but de contrôler la conformité des combinaisons aux normes. Par ailleurs, si le sujet subit une chute de température périphérique, il faudra le retirer de l'eau pour des raisons médicales et éthiques avant la fin de l'essai;
f) l'angle de flottaison pour les essais n'est pas uniforme. Le fabricant des combinaisons peut ajouter un gilet de sauvetage haut de type Newton (qui pourrait ne jamais avoir été porté avec la combinaison) pour obtenir une meilleure valeur de franc bord et ainsi diminuer les risques de perdre l'étanchéité du joint de cou et pour diminuer la compression hydrostatique à l'arrière de la combinaison. Cela permettrait d'obtenir de meilleurs résultats en matière d'isolation globale;
g) les combinaisons ne peuvent être testées que

dans des eaux calmes et un peu agitées ou dans une piscine dotée d'un générateur à houle. Faire des essais en haute mer dans des conditions où la mer serait plus forte que Beaufort 3 n'est pas seulement hors prix, mais cela ne serait probablement pas accepté par un comité d'éthique.

En conclusion, il n'existe pas de façon parfaite pour prédire la performance d'une combinaison en mer, pendant un accident réel. Cependant, on peut comparer la performance de différentes combinaisons dans un milieu habituel de plusieurs façons. Parmi ces méthodes, les essais avec des mannequins sont les plus faciles et les plus reproductibles. Il y a toutefois un danger d'appliquer les données d'essais faits avec des mannequins aux humains, mais ce danger diminue lorsque les caractéristiques des essais sont définies avec un degré de précision supérieur (Sowood et coll., 1994) (référence 137).

Résumé du chapitre 3

Ce chapitre analyse les principaux problèmes matériels de la conception et des essais des combinaisons d'immersion.

- Une infiltration d'eau aussi petite qu'un demi litre d'eau dans une combinaison diminue ses propriétés isolantes (valeur en clo en état d'immersion) de 30 %. C'est pourquoi une combinaison sèche est nécessaire pour protéger une personne des effets à long terme de l'hypothermie.
- La valeur isolante d'un tissu sur une surface plane est directement proportionnelle à son épaisseur. En pratique, cela signifie que l'on obtient environ 4 clo d'isolation par pouce d'épaisseur de vêtement. En augmentant l'épaisseur au-delà de cette valeur, on limite énormément la mobilité d'une personne. Cependant, la valeur isolante d'un tissu recouvrant un cylindre, p. ex. les doigts et les orteils, n'augmente pas linéairement avec l'ajout d'épaisseur. Aucune amélioration significative de la valeur d'isolation se produit lorsqu'on ajoute plus d'un pouce d'épaisseur. C'est pourquoi il est tellement difficile de protéger les mains et les pieds.
- Les êtres humains produisent (même au repos) environ 500 à 800 mL de transpiration imperceptible toutes les 24 heures. Ainsi, s'il faut porter une combinaison imperméable, il doit y avoir une méthode pour extraire la sueur de la surface de la peau. C'est cette humidité sur la peau qui rend la combinaison chaude et inconfortable.
- Les premières mesures de la valeur clo ont été effectuées dans des piscines où l'eau était agitée. Des travaux plus récents ont montré que, en mer, la valeur d'isolation est réduite de 15 % comparativement à l'eau d'une piscine.
- La flottabilité totale d'un très grand pourcentage des combinaisons d'immersion annule la capacité de redressement automatique des gilets de sauvetage approuvés.
- Il faut faire très attention à la conception de combinaisons d'immersion destinées à des passagers d'hélicoptère pour veiller à ce que la flottabilité inhérente ne diminue pas la capacité d'une personne à sortir d'un hélicoptère abîmé en mer et retourné à l'envers qui s'enfonce rapidement.
- On examine les avantages et les désavantages de l'utilisation des mannequins et des sujets humains pour mesurer le degré d'isolation d'une combinaison et pour réussir ou échouer les essais de conformité d'une combinaison à une norme donnée.

Chapter 4

PRINCIPAUX PROBLÈMES DE FABRICATION D'UNE COMBINAISON D'IMMERSION

Où en est notre technologie des combinaisons d'immersion en 2002?

En 1986, Brooks (référence 28) était découragé de voir la piètre qualité des combinaisons qu'on lui avait fournies pour faire des essais. Des combinaisons toutes neuves provenant directement du fabricant laissaient pénétrer l'eau, les fermetures bloquaient, les attaches sur les combinaisons et les gants se déchiraient la première fois qu'on les enfilait, et très peu d'attention avait été accordée aux dimensions et au confort des combinaisons. De plus, l'interface entre le gilet de sauvetage et le vêtement de survie était très mauvaise. Il a donc réexaminé le sujet de fond en comble et a conclu qu'aucune combinaison existante ne satisfaisait à tous les critères d'une bonne combinaison d'immersion et que, dans sa forme présente, la combinaison avait atteint son développement optimal. Tout le mérite revenait aux pionniers qui, depuis 1939, avaient entrepris une lutte acharnée contre de nombreux adversaires et une forte résistance dans le but de produire une combinaison d'immersion raisonnablement bonne si elle était fabriquée dans les règles de l'art. Pourtant, disons les choses crûment, la combinaison d'immersion en une seule pièce, créée pour l'aviation canadienne en 1945, serait presque aussi bonne sinon meilleure que les combinaisons fabriquées dans les années 1980 (figures 15 et 16). Comme nous l'avons déjà mentionné, l'introduction de tissu de coton ventilé qui serait par la suite remplacé par le Gortex, et l'introduction, dans les années 1980, de fermetures imperméables fiables n'ont permis d'apporter que d'infimes améliorations à la performance d'ensemble des combinaisons. Brooks avait espéré que son article stimulerait les gouvernements, l'industrie et la communauté des chercheurs à examiner de nouveaux concepts. Le prochain chapitre porte sur les principaux problèmes de conception et de fabrication d'une bonne ou d'une mauvaise combinaison d'immersion.

Figures 15 et 16 : Combinaison d'un pilote convoyeur de la RCAF, mise au point en 1945 (gauche) et une combinaison d'immersion pour des pilotes de CF18 mise au point en 1990 et fabriquée avec du Gortex Nomex (droite).

Étanchéité à l'eau

Si la combinaison doit être conçue pour protéger des quatre stades d'une immersion accidentelle, elle doit donc, à moins que d'autres concepts ne soient mis à l'essai, être imperméable. Cela pose le problème de la façon dont on doit fermer la combinaison et comment réussir à la rendre étanche aux mains et aux pieds.

a) Joint de cou pour des combinaisons à habillage rapide

La méthode de la cordelière de serrage est très simple à fabriquer et à utiliser même lorsque les mains sont gelées, mais elle laisse passer l'eau jusqu'à un certain degré (figure 17). C'est encore pire lorsque la personne qui la porte n'a pas beaucoup de hauteur de franc bord. Elle laissera aussi pénétrer l'eau dès l'entrée initiale. Ce problème peut être en grande partie corrigé si la cordelière est incorporée dans une gaine en caoutchouc très souple fixée au collet de la combinaison. Cependant, cette combinaison est très bonne lorsqu'elle est utilisée en cas d'abandon en masse d'un navire. Dans des cas de ce genre, il s'agit surtout d'obtenir une protection contre le choc dû au froid et l'épuisement à la nage et il y aura une embarcation ou un radeau de sauvetage immédiatement disponible. La cordelière est très utile lorsqu'il s'agit de combinaisons qui doivent être enfilées très rapidement par-dessus d'autres vêtements pendant un abandon. Toute combinaison qui comporterait une cordelière de serrage doit être utilisée avec un gilet de sauvetage. Ce système a fait ses preuves lors de la guerre des Malouines.

Figure 17 : Combinaison à habillage rapide à usage unique. Remarquer la cordelière de serrage pour fermer au cou. L'avantage est qu'elle est simple et économique et qu'elle peut être fabriquée en taille unique.

b) Joint de cou pour combinaison à port constant

Le joint est réalisé en fixant à l'encolure une large bande de caoutchouc. Pour rendre le joint plus confortable, il a été divisé en son centre par une fermeture à glissière. Ainsi, en théorie le cou peut être laissé dégagé pour effectuer des tâches courantes et fermé juste avant l'immersion dans l'eau. Cependant, la fermeture a tendance à produire une bosse inconfortable en dessous du menton comme dans la figure 18. Une bonne solution est d'insérer un rabat pour améliorer le confort (figure 19) mais celui-ci doit être bien conçu pour éviter qu'il ne se coince dans la fermeture à glissière lorsque celle-ci est fermée rapidement. Une autre solution est une fermeture à glissière décentrée. Cette fermeture, qui se ferme sur le côté du cou, fonctionne raisonnablement bien si elle peut être bloquée fermement et à temps (figure 20).

Figure 18 : Exemple de joint de cou avec fermeture centrale. Le bout de la fermeture tend à s'appuyer inconfortablement sur le larynx.

Figure 19 : Exemple de joint de cou à fermeture centrale auquel on a ajouté une bande de protection pour plus de confort.

Figure 20 : Exemple de joint de cou à fermeture décentrée.

Une variante de cette idée est d'allonger la fermeture sur le devant (figure 21) ou sur le côté (figure 22) du capuchon. L'étanchéité à l'eau est alors assurée par le joint du capuchon autour du visage plutôt que par le joint autour du cou. Ce genre de joint doit être fermé très longtemps avant l'immersion à cause de la précision nécessaire pour ajuster le capuchon sur le pourtour du visage, pour entrer tous les cheveux confortablement à l'intérieur et pour s'assurer que la fermeture est tirée jusqu'au bout et bien bloquée. De plus, la combinaison n'est pas très confortable à porter dans un hélicoptère s'il arrive que les exploitants insistent pour que la combinaison soit maintenue fermée pendant toute la durée du vol.

Figure 21 : Exemple de combinaison dont le capuchon sert à protéger le joint de cou. La fermeture est placée au centre et se termine inconfortablement sous le nez et la bouche.

Figure 22 : Exemple de combinaison dont le capuchon sert à protéger le joint de cou. La fermeture est placée sur le côté pour mieux dégager le nez et la bouche, ce qui la rend moins inconfortable lorsqu'elle est fermée.

Le problème avec une combinaison dont le capuchon sert à protéger le joint de cou est qu'elle réduit le champ de vision d'une personne qui se trouve dans l'eau et sa capacité à entendre des ordres essentiels. Si la fermeture est ouverte dans l'eau ou mal fermée lors de l'immersion, l'étanchéité à l'eau de l'ensemble de la combinaison est compromise. Il faut aussi prendre note que, dans le cas d'une évacuation d'urgence d'un hélicoptère qui s'est abîmé en mer, retourné et rempli d'eau, la compression hydrostatique sur la combinaison qui se produit dès l'entrée dans l'eau peut entraîner une arrivée soudaine d'air à l'intérieur du capuchon qui l'arrachera tout simplement. Des soupapes de sécurité à faible pression de fonctionnement et à grand volume placées sur les épaules ou sur le capuchon sont très efficaces et essentielles pour éviter cette situation. Elles entraînent, cependant, des coûts supplémentaires et compliquent la fabrication de la combinaison (figures 23 et 24).

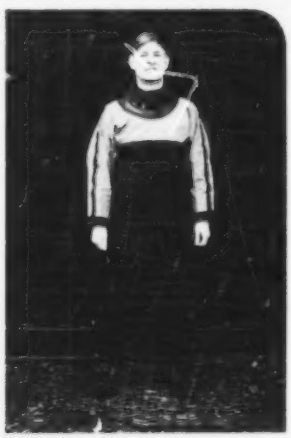
Figure 23 : Des élèves en train de s'attacher dans une ESMEF montrent un exemple de soupape de sécurité placée sur le capuchon de la combinaison pour éviter que l'air emprisonné ne s'échappe rapidement en arrachant le capuchon.

Figure 24: Un exemple de soupape de sécurité placée sur le dessus de l'épaule. Dans ce cas-ci, une autre soupape est fixée sur l'autre épaule et, dans certains cas, des soupapes sont également ménagées aux pieds.

Diverses tentatives ont été faites pour fabriquer un joint de cou lâche qui permettrait de ventiler la combinaison et de la fermer rapidement juste avant l'immersion. Cependant, jusqu'à maintenant, les systèmes de fermeture rapide (figure 25) au cou ont tendance à manquer d'étanchéité. La raison est simple : les concepteurs considèrent le cou comme un simple cylindre et estiment que tout anneau pouvant être serré au cou fournirait l'étanchéité nécessaire. Ce qui est faux, le cou a une forme ovale complexe avec une saillie en avant qui est le larynx. Ainsi, jusqu'à maintenant, la seule façon simple et fiable d'assurer l'étanchéité autour de cette forme est d'utiliser une bande de cou en caoutchouc continue (figure 26). Plus le caoutchouc est souple et pliable, meilleure sera l'étanchéité du joint et l'acceptation par l'utilisateur. Le désavantage est que peu de personnes tolèrent ce type de joint de cou sauf certains groupes comme les plongeurs qui l'utilisent quotidiennement. Certaines entreprises fabriquent des combinaisons avec un joint de cou constitué de trois rondelles coniques de plus en plus large, l'utilisateur coupe le joint jusqu'à ce que l'encolure s'ajuste parfaitement. La plupart des gens trouvent que ce genre d'encolure est chaude et provoque la transpiration et qu'elle irrite la peau du visage qu'il soit couvert de barbe ou rasé de près. Néanmoins, avec la technologie actuelle, il n'en demeure pas moins que c'est la meilleure façon d'obtenir un joint de cou parfaitement étanche.

Figure 25 : Exemple de joint de cou de type à cliquets pour fermer l'encolure.

Figure 26 : La meilleure méthode d'étanchéiser le cou demeure la bande de cou en caoutchouc continue.



c) Méthode d'habillage et de fermeture de la combinaison

i) Habillage par le cou

La conception de la fermeture de la combinaison doit être compatible avec celle du joint de cou. Lorsqu'il s'agit de combinaisons simples à habillage rapide conçues pour un abandon d'urgence avec le plus de vêtements possibles, la combinaison de type sac avec une large entrée par le cou est la meilleure. La combinaison est ensuite fermée par des cordelières (figure 17). Le grand désavantage des cordelières est, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, l'infiltration d'eau qui se produit lorsque le franc bord est faible à cause d'un gilet de sauvetage peu efficace.

ii) Habillage par l'avant

La deuxième méthode est l'habillage par l'avant de la combinaison qui comportera soit un joint de cou continu, soit un joint de cou en deux parties, soit un joint sur le capuchon. Dans chacun de ces modèles, une fermeture à glissière imperméable est utilisée. Les fermetures modernes, quoique très chères, sont d'excellente qualité si elles sont entretenues adéquatement. Premièrement, la fermeture peut être posée verticalement à partir de l'entrejambe jusqu'au centre du joint de cou en deux parties à l'avant du larynx (figure 18). À moins qu'elle ne soit parfaitement fermée avant l'immersion, elle a le désavantage de laisser pénétrer l'eau et d'être inconfortable une fois qu'elle est bien fermée. Deuxièmement, la fermeture peut être posée entre l'entrejambe et le côté du joint de cou (figure 20). Les problèmes sont semblables à ceux de la fermeture placée au milieu. Troisièmement, la fermeture peut être posée entre l'entrejambe et l'avant de la combinaison ou le côté du capuchon (figures 21 et 22). Les problèmes avec le joint du capuchon ont été examinés plus haut. Quatrièmement, la combinaison incorpore un joint de cou en caoutchouc continu. L'utilisateur doit pouvoir enfiler la combinaison à partir d'une ouverture frontale et ensuite, tirer vers le haut la partie du torse, y compris le joint de cou, jusque par-dessus de la tête avant de pouvoir remonter la fermeture à glissière. La fermeture diagonale part de l'entrejambe pour se rendre jusqu'à l'épaule gauche ou droite, où elle se bloque (figure 27). Il est préférable que la fermeture se termine à l'épaule et non à l'entrejambe. Si le bout de la fermeture est dans l'entrejambe et que l'utilisateur ne l'a pas fermé correctement, la combinaison se remplira très vite d'eau. Cinquièmement, la combinaison doit incorporer un joint de cou continu, mais la fermeture commence sur la hanche gauche, passe par le dos et ensuite, traverse la poitrine en diagonale jusqu'à l'épaule droite. Pourvu que ces grandes fermetures à glissière soient bien entretenues, la conception en diagonale rend les combinaisons faciles à enfiler en introduisant d'abord les pieds et les jambes et en tirant ensuite le joint de cou et le haut de la combinaison par-dessus la tête.

Figure 27 : Combinaison avec fermeture à glissière en diagonale. C'est une bonne conception pour un habillage facile.

Sixièmement, le haut de la combinaison s'ouvre en deux par une fermeture en forme de W. La fermeture commence d'un côté du nombril, traverse le torse en diagonale, passe à l'arrière de la poitrine et retourne vers le bas de l'autre côté en diagonale pour aboutir de l'autre côté du nombril (figure 28). Ce genre de combinaison peut être fermée d'une seule main. Ce type de fermeture éclair assure l'habillage le plus facile. L'avantage est que la combinaison peut être portée à moitié fermée avec les manches repliées sur l'avant, dans la salle de repos pour l'équipage ou sur le pont, par exemple.

Figure 28 : Fermeture en W qui permet d'enfiler facilement la combinaison.

Septièmement, l'habillage peut s'effectuer grâce à une longue ouverture horizontale en travers de la poitrine allant de l'aisselle droite à l'aisselle gauche (figure 29). Le désavantage de cette conception est que, en raison des plis de la combinaison, il n'est pas très facile de la refermer. Il faudrait incorporer des languettes de tirée dans les deux poignets aux deux extrémités de la fermeture, de sorte que le chariot puisse être tiré facilement et en souplesse d'un côté à l'autre de la poitrine pour se fermer complètement. Ce dispositif ne fait que compliquer la fabrication de la combinaison et en augmente les coûts (figure 30).

Figure 29 : Enfilage de la combinaison par une fermeture horizontale.

Figure 30 : La fermeture horizontale nécessite des attaches additionnelles pour étirer les deux côtés de la fermeture avant de fermer la combinaison.

iii) Habillage par le dos

Toutes les combinaisons qui s'enfilent par le dos comportent un joint de cou en caoutchouc continu. Le premier type est celui qui se ferme par une fermeture en fer à cheval (figure 31). La fermeture commence à l'avant, du côté gauche de la poitrine, passe autour de l'épaule gauche par la pointe de l'épaule jusqu'à l'épaule droite et puis, redescend sur l'avant du côté droit de la poitrine. Si la combinaison est de la taille qui convient parfaitement à la personne, la fermeture peut être manipulée d'une seule main, fait un pli très confortable sur l'avant de la combinaison qui est très facile à endosser. Comme la combinaison avec la fermeture en W, cette combinaison permet un enfilage facile et la moitié supérieure peut être repliée. La combinaison peut être portée à moitié fermée avec les manches attachées sur l'avant.

Figure 31 : La fermeture en fer à cheval peut être fermée et bloquée d'une seule main et la combinaison est facile à enfiler.

Le deuxième type de combinaison préférée des plongeurs commerciaux se ferme grâce à une fermeture horizontale posée à l'arrière allant d'une aisselle à l'autre (figure 32). C'est aussi un bon système, elle tombe en un pli confortable et la combinaison est facile à enfiler. Le désavantage est qu'il faut une personne pour aider à enfiler la combinaison, tirer sur la fermeture à glissière jusqu'au bout et la bloquer.

Figure 32 : La fermeture arrière, qui fait un pli très confortable à l'arrière, exige l'aide d'une autre personne pour la fermer parfaitement.

iv) Autres méthodes de fermeture

L'U.S. Navy est à mettre au point un autre type de fermeture très longue qui commencerait sur le devant au milieu de la poitrine, passerait par l'entre-jambe et remonterait à l'arrière de la combinaison. Les avantages de ce système par rapport aux autres systèmes ne sont pas très clairs pour le moment, il faut attendre qu'un prototype soit mis à l'essai.

d) Fermeture des poignets (gants intégrés ou séparés)

La meilleure garantie pour que le joint aux poignets soit parfaitement étanche est d'intégrer le gant, qu'il soit à cinq doigts ou en forme de pince de homard, à la combinaison (figure 33).

Figure 33 : Le gant standard de type pince de homard à trois doigts intégré à une combinaison de sauvetage en cas de naufrage.

En pratique, cette formule fonctionne très bien, mais toute tâche qui exige la motricité fine ne sera pas facile. Une deuxième option est d'incorporer le gant à la combinaison et d'avoir une sorte de fermeture qui permettrait de libérer les mains. Cela fonctionne mieux en théorie qu'en pratique. Si les mains sont libres, comme dans le cas des passagers d'hélicoptère, alors, en cas d'amerrissage forcé, les mains doivent être placées rapidement à l'intérieur des gants qui seront assujettis à la combinaison avec la fermeture à glissière. Il est facile de remonter la fermeture pour la première main, mais pour la deuxième main, c'est plus difficile en raison de la perte de motricité fine de la main dominante. S'il s'est produit une blessure à la main, le deuxième gant ne sera probablement jamais enfilé ni assujetti avec la fermeture à glissière.

Une variante serait d'ajuster le gant sur la combinaison et d'empêcher l'eau de pénétrer à l'intérieur de la manche par un joint de poignet en caoutchouc continu. Mais cette solution ne règle pas le problème de motricité fine. Non seulement il est encore difficile d'enfiler le deuxième gant, mais aussi, à moins que le gant ne soit bien conçu et renforcé à l'extrémité de la fermeture, la tirée inégale sur la fermeture a souvent pour effet de déchirer le gant en caoutchouc néoprène.

On s'entend généralement pour fixer les joints de poignets avec une bande de caoutchouc latex continue et pour ranger les gants dans des poches ménagées sur chaque manche (figure 34). Il est très important d'entretenir ces joints de caoutchouc en les poudrant de talc. Cela empêche le pouce ou les doigts de déchirer les joints pendant l'enfilage. Pour des combinaisons plus perfectionnées comme les combinaisons de sauvetage d'équipages de sous-marins, le port de gants en peau de mouton souple passés par-dessus la combinaison et protégés par un joint de poignet classique en caoutchouc isole suffisamment les mains pour permettre d'exécuter des tâches cruciales. Et puis, pour une survie à long terme, on fournit des moufles de dessus doublées de mousse isolante. L'entretien de combinaisons dotées de joints de poignet continus exige beaucoup de travail. Les combinaisons peuvent devenir inutilisables parce que la personne aura transpersé le joint de caoutchouc avec les doigts ou les ongles. Il faut enlever les vieux joints et la colle de la combinaison, nettoyer le tissu et recoller un nouveau joint. C'est un procédé très long et coûteux et, à l'occasion, il faudra annuler des missions au-dessus de la mer jusqu'à ce qu'une combinaison en bon état soit livrée. Un nouveau concept de fermeture déjà utilisé par les plongeurs est un joint en caoutchouc à ouverture rapide constitué d'une rainure circulaire fixée à chaque poignet et d'un anneau en caoutchouc. L'anneau s'insère dans la

rainure pour fermer hermétiquement le joint. On peut ainsi remplacer le joint en moins d'une minute. Ce concept mériterait d'être étudié plus à fond par l'industrie navale (figure 35).

Figure 34 : Probablement la meilleure méthode est d'insérer chaque gant dans une poche cousue sur le dessus de la manche et d'étanchéiser le poignet à l'aide d'un joint continu en caoutchouc.

Figure 35 : Exemple de joint de poignet en caoutchouc à remplacement rapide.

e) Tissu utilisé pour les combinaisons (avec ou sans isolation incorporée)

La combinaison est fondamentalement constituée d'une enveloppe extérieure en tissu qui assure l'étanchéité à l'eau et une doublure intérieure, ou sous-combinaison, qui assure l'isolation ou la valeur clo. Les deux épaisseurs peuvent être superposées (combinaison doublée) ou séparées (combinaison non doublée).

Les enveloppes extérieures des premières combinaisons étaient faites en caoutchouc revêtu de néoprène ou de chloroprène. Ces tissus ne laissent pas passer la transpiration. Lorsqu'on a inventé le coton ventilé, tout le monde a cru que le problème était réglé, mais ce n'était pas le cas. Comme nous l'avons mentionné précédemment, le tissu coûtait cher à produire et rendait onéreuse la fabrication en série des combinaisons. En outre, les huiles et la graisse diminuaient son imperméabilité et pour obtenir une étanchéité parfaite à l'eau, il fallait utiliser deux épaisseurs de tissu. L'invention du Gortex et, par la suite, du Gortex Nomex ignifuge a certainement amélioré l'étanchéité à l'eau des combinaisons, une fois qu'on a réussi à perfectionner le scellage à chaud des joints.

Les fabricants qui choisissent de fabriquer des combinaisons doublées en deux parties disposent de nombreuses options pour les sous-combinaisons. Un certain nombre d'entre elles sont en peluche synthétique et peuvent fournir différentes valeurs clo pour différentes températures d'eau froide (figures 36, 37 et 38). Elles sont toutes robustes et peuvent se laver à la machine. En outre, les nouvelles sous-combinaisons peuvent être doublées d'un filet qui transfère la vapeur d'eau de la peau à la surface de la combinaison, toutefois, le tissu de l'enveloppe extérieure doit respirer pour que cela fonctionne. Il existe aussi, sur le marché, d'autres types de sous-combinaisons en mousse minces et souples (figure 38) qui peuvent aussi bien être utilisées. Le principal avantage de la combinaison avec une sous-combinaison séparée est qu'elle est beaucoup plus facile à laver et que l'utilisateur peut ajouter ou enlever l'épaisseur de la sous-combinaison en fonction des conditions ambiantes. De plus, la combinaison est plus confortable et moins coûteuse à entretenir.

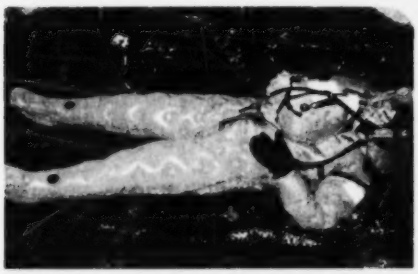
Figures 36, 37 et 38 : **Trois exemples de sous-combinaisons. Celle à la gauche et celle au centre sont en fibre synthétique d'épaisseur moyenne (gauche) et plus épaisse (au centre). La combinaison à droite est fabriquée dans une des mousses synthétiques modernes.**

L'isolation de la combinaison peut être assurée par une sous-combinaison gonflable. L'avantage est que la combinaison peut être portée comme combinaison non doublée pour des tâches courantes (avec la valeur en clo équivalente à celle d'une combinaison de travail) et la doublure n'est ajoutée que si la personne est dans une situation de survie. Il s'agit là d'une excellente idée et la recherche devrait se concentrer dans cette direction. La Royal Navy a commercialisé la première combinaison d'immersion gonflable opérationnelle qui utilise du CO^2 comme combinaison de sauvetage pour les équipages de sous-marins dans les années 1950 et 1960. Le même principe a été exploité avec la combinaison Mk10 destinée aux équipages de sous-marins. Vers le milieu des années 1970, la société I.L.C. Dover (Delaware) a fabriqué, pour le compte de l'IMED, une combinaison expérimentale gonflable au CO^2 qui a bien fonctionné mais qui exigeait beaucoup de soins pour maintenir son étanchéité au gaz et dont les coûts de fabrication étaient très élevés. Néanmoins, elle a démontré que le concept était bon (figure 39). Dans les années 1980, la société Shell, le Shark Group et l'University of Surrey ont inventé une combinaison d'immersion pour passagers d'hélicoptère gonflable et très perfectionnée qui comportait un gilet de sauvetage intégré (figure 40). La combinaison était fabriquée en nylon revêtu d'uréthane. Elle était ainsi beaucoup moins chère à fabriquer que le modèle initial de l'I.L.C. Dover.

Le CO^2 est emprisonné dans des compartiments scellés par haute fréquence. Ainsi, une fuite de l'un des compartiments ne compromet pas l'étanchéité des autres compartiments. Un autre avantage est que l'épaisseur isolante peut être maintenue sur le dos et les endroits de pression, ce qui empêche le gaz de s'échapper vers l'avant. Cette combinaison est actuellement en service et représente la technologie la plus récente en matière de combinaison d'immersion avec gilet de sauvetage intégré.

Figure 39 : **Combinaison d'immersion expérimentale ILC Dover gonflée au CO^2 pour les pilotes. Une botte a été enlevée pour montrer la sous-combinaison gonflable.**

Figure 40 : La combinaison de survie gonflable scellée par haute fréquence créée par la société Shell, le Shark Group et l'University of Surrey et portée avec un gilet de sauvetage asymétrique pour assurer le redressement automatique.



D'autres fabricants ont choisi de fixer l'enveloppe extérieure à la sous-combinaison isolante. Le désavantage est qu'il n'est pas possible de remplacer la sous-combinaison en fonction des conditions opérationnelles. Le tissu utilisé pour l'enveloppe est habituellement un mélange de nylon durable fixé à un caoutchouc mousse de 3 mm ou de 5 mm (figure 41).

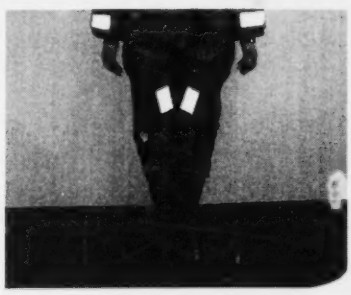
Il existe maintenant des tissus revêtus de PVC ou d'uréthane qui fournissent une bonne protection contre les huiles et les graisses. Il existe des tissus de nylon haute résistance très bons qui résistent au déchirement. Il y a également sur le marché des tissus élastiques qui peuvent être collés à n'importe quel type de mousse comme l'Ensolite pour fournir l'extensibilité élastique nécessaire à un bon ajustement du vêtement. Il y a en outre le Gortex qui peut être collé à un grand nombre de tissus différents. Par conséquent, pour la première fois, ceux qui travaillent sur l'eau ou qui la survolent peuvent choisir le tissu le mieux adapté à leurs activités particulières.

Figure 41: Combinaison de sauvetage fabriquée dans un mélange de nylon Cordura durable collé sur du caoutchouc mousse néoprène.

f) Fermeture aux pieds

Plusieurs idées ont été exploitées pour fermer la combinaison aux pieds. Une des meilleures idées est de fournir une paire de bottes de type Wellington fixées aux jambes. Elles sont très pratiques pour marcher sur le pont, monter et descendre les échelles et nettoyer les filets, mais elles ont le désavantage de devoir être ajustées à taille de la personne. Dans l'eau, elles sont très flottantes, ramenant les jambes de la victime jusqu'à la position horizontale. Les personnes de petite stature ont de la difficulté à se mettre à l'horizontale dans l'eau pour effectuer les tâches de survie essentielles ou pour se placer de façon à grimper à bord du radeau de sauvetage (figures 14 et 42).

Figure 42 : Une combinaison d'hélicoptère avec des bottes Wellington en caoutchouc fixées aux jambes.



Une autre façon est de fabriquer une chaussette dans le même tissu que la combinaison d'immersion et de la doter d'une semelle renforcée (figure 43). De minces chaussettes peuvent alors s'insérer à l'intérieur des chaussures de la personne. D'autres types de chaussettes ont une semelle renforcée et n'ont pas besoin d'être portées avec des bottes. Dans certains cas, comme dans celui de la combinaison flottante en cas de naufrage, la chaussette peut être fabriquée en tissu extensible et la chaussure peut être portée à l'intérieur de cette dernière. Ces chaussettes fonctionnent généralement assez bien. La chaussure placée à l'intérieur de la chaussette tend à rendre la démarche maladroite et il faut faire plus attention pour grimper aux échelles et emprunter les escaliers des cabines. En raison de l'usure causée par une utilisation répétée dans les écoles de formation, il faudrait les renforcer davantage lorsqu'on s'en sert à ces fins.

Figure 43 : Combinaison d'immersion militaire type avec chaussettes fixées aux jambes

Résumé du chapitre 4

Dans ce chapitre, nous avons traité des principaux problèmes de fabrication d'une combinaison d'immersion, notamment :

- la difficulté de réaliser un bon joint de cou. La seule façon fiable éprouvée a été d'utiliser un collet en caoutchouc continu ajusté au cou. Les joints de cou en deux parties tendent à laisser pénétrer l'eau;
- les joints de poignets sont également mieux conçus lorsqu'on utilise une bande en caoutchouc continue, mais les combinaisons deviennent rapidement inutilisables lorsque ces joints ne sont pas bien entretenus et que les occupants les perforent avec un doigt ou le pouce;
- on peut endosser une combinaison par l'avant ou l'arrière. Il y a des avantages et des inconvénients aux deux méthodes, mais quelle que soit la méthode utilisée, il doit être possible d'endosser la combinaison d'une seule main et la fermeture à glissière doit être de bonne qualité sinon la combinaison laissera pénétrer l'eau;
- il est préférable que les gants soient séparés et rangés dans une pochette sur la manche plutôt qu'incorporés à la combinaison;
- la meilleure option est d'intégrer des bottes en caoutchouc de type Wellington à la combinaison, mais elles doivent être fournies de la bonne taille. Il est possible que par nécessité et pour des raisons économiques, on fournisse des chaussettes extensibles à la place;
- il existe maintenant une vaste gamme de tissus pour l'enveloppe extérieure d'une combinaison et pour la sous-combinaison thermique. Il est plus facile de laver et d'entretenir une combinaison dont la sous-combinaison est séparée et que l'on peut utiliser comme couche isolante, s'il y a lieu;
- somme toute, la combinaison à habillage rapide à utilisation unique fermée au cou par une cordelière fournit un compromis pratique et économique qui a fait ses preuves lors de la guerre des Malouines. Elle est très utile pour être enfilée rapidement par-dessus des vêtements au moment d'abandonner le navire.

CHAPITRE 5

COMPATIBILITÉ ENTRE LA COMBINAISON D'IMMERSION ET LE GILET DE SAUVETAGE

Il est impossible de parler de survie en eau froide et de combinaison d'immersion sans tenir compte du rôle joué par le gilet de sauvetage. Pour plus d'information sur la conception et la mise au point des gilets de sauvetage, le lecteur est invité à consulter le manuel portant sur le sujet écrit par l'auteur (référence 29). Le principe des gilets de sauvetage pneumatiques est connu depuis beaucoup plus longtemps qu'on ne se l'imagine. Des peaux d'animaux gonflées ont été utilisées par l'armée d'Asur Nasir Pal dès l'an 870 av. J.C. pour traverser de petits cours d'eau. Mais, par la suite, les marins n'ont eu à leur disposition que des gilets de sauvetage assez grossiers jusque vers le milieu du XIX^{e} siècle. Comme mentionné au chapitre 1, la principale raison était que la vie des marins comptait pour très peu et la noyade était considérée comme un risque du métier et la fatalité. Lors de la bataille de Trafalgar, en 1805, les marins se sont agrippés à des débris jetés à la mer pendant plus de 15 heures avant d'être sauvés. Le recrutement forcé des marins et les sabordages de navires ont retardé l'invention des gilets de sauvetage. Cependant, les navires en fer, qui ont fait leur apparition vers 1850, sombraient en moins de temps et produisaient moins d'épaves et de débris en bois auxquels pouvaient s'accrocher les naufragés de sorte que les décès en mer se sont rapidement multipliés. Enfin, on avait de bonnes raisons pour concevoir un gilet de sauvetage qui permettrait de sauver les marins naufragés.

En 1851, comme nous l'avons aussi mentionné au chapitre 1, le capitaine John Ross Ward avait mené à bien les premières évaluations de facteurs humains sur huit gilets de sauvetage différents pour le compte de la Royal National Lifeboat Institution. Le gilet de sauvetage retenu a été celui qu'il avait lui-même conçu en liège et qui assurait 25 lb de flottabilité. Ce style de gilet de sauvetage est demeuré en service dans la Royal Navy jusque vers les années 1930 et un grand nombre d'équipages volontaires d'embarcations de sauvetage l'ont utilisé jusqu'à la fin de la Seconde Guerre mondiale (figure 8). La première prescription juridique obligeant de conserver des gilets de sauvetage à bord de navires a été imposée par les États-Unis en 1852. La France a ensuite emboîté le pas (1884) et a été suivie par la Grande-Bretagne (1888), l'Allemagne (1891) et le Danemark (1893). La flottabilité était assurée par du liège, des copeaux de bois, du balsa ou des joncs.

Le kapok n'a pas été utilisé avant les années 1900. Macintosh avait inventé la technique pour enduire le tissu de caoutchouc au début des années 1820 et il n'y avait toujours pas de gilets de sauvetage gonflables fiables en service avant le XX^{e} siècle.

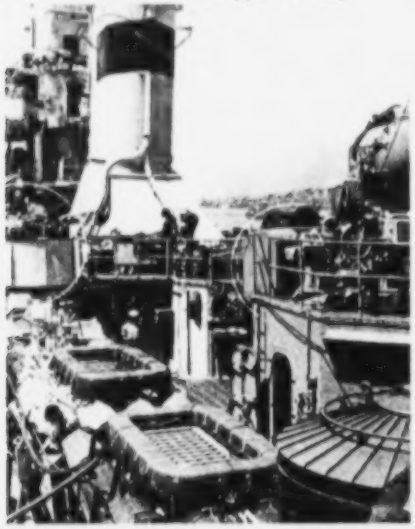
Il a fallu une catastrophe de l'envergure du RMS Titanic pour forcer le nations du monde à élaborer une norme internationale sur les gilets de sauvetage. C'est en 1912, lors de la première convention de l'OMI SOLAS que la norme a vu le jour. Elle prescrivait une flottabilité de 15 1/2 lb, mais elle ne prévoyait aucun dégagement des cavités oronasales. Comme nous l'avons déjà mentionné, personne n'avait pensé à étudier la physiologie de la noyage en eau froide et à utiliser une démarche scientifique quelle qu'elle soit pour concevoir les gilets de sauvetage.

Il en a donc résulté que, dans le cadre de nombreuses enquêtes maritimes sur des accidents, des témoins ont rapporté que les victimes de la noyade étaient généralement trouvées le visage dans l'eau même si elles portaient des gilets de sauvetage. Le naufrage du Vestris, en 1928, avec ses 112 noyades, en est un exemple typique. Par suite du naufrage, on a reconvoqué le deuxième comité SOLAS, en 1929, mais la norme sur les gilets de sauvetage n'a pas été améliorée.

Comme nous l'avons mentionné plusieurs fois déjà, les marines du monde entier avaient la conviction qu'il fallait assurer la flottaison des naufragés dans l'eau plutôt que sur l'eau ou à la surface de l'eau. Cette certitude a mené à la mise au point de toute une série de flotteurs et de radeaux de sauvetage (figure 44). Très peu de naufragés pouvaient se maintenir à l'extérieur de l'eau, la majorité d'entre eux devaient s'agripper à des tire-veilles disposés tout autour des radeaux, le corps immergé jusqu'au cou dans de l'eau glaciale. Croyez-le ou non, lorsque la Royal Navy est entrée en guerre en 1939, les marins n'ont reçu aucun dispositif de flottaison individuel. Ce n'est que l'intervention personnelle de l'amiral Woodhouse qui a décidé l'amirauté à ressortir une ceinture en caoutchouc gonflable désuète du modèle n^{o} 14124 qui fournissait 9 1/2 lb de flottabilité. Ce dispositif avait déjà été abandonné au milieu de la Première Guerre mondiale comme étant insatisfaisant! Malgré cela, c'est ce qui a été utilisé

par la Royal Navy pendant toute la guerre et pendant un certain temps, par les marines canadiennes et néo-zélandaises.

Figure 44 : Le flotteur de type Carley



Pendant la bataille d'Angleterre, l'Air Sea Rescue Service avait remarqué que de nombreux pilotes noyés dans la mer du Nord avaient le visage dans l'eau même s'ils portaient leur ceinture de sauvetage gonflable Mae West qui était censée être très efficace – qu'est-ce qui s'était produit? Cette constatation est à l'origine des premiers travaux de Macintosh et Pask visant à étudier le comportement d'un homme inconscient dans l'eau (référence 107). Pask, portant différents gilets de sauvetage, s'est fait anesthésié plusieurs fois et placé dans une piscine à Farnborough pour évaluer l'angle de flottaison, la hauteur de franc bord et la capacité de redressement automatique. Les résultats de ces expériences ont permis d'énoncer les principes de base du gilet de sauvetage moderne. En Allemagne, à la suite du naufrage du Bismarck, les enquêteurs ont remarqué que les marins, noyés malgré le port du gilet de sauvetage, étaient trouvés le visage dans l'eau. Ils ont mis sur pied un énorme programme de recherche sur les gilets de sauvetage et sont parvenus à la conclusion qu'il faut un bon soutien de la tête pour maintenir les cavités oronasales hors de l'eau.

Après la guerre, toutes ces pertes de vie et défaillances d'équipement ont été consignées dans le rapport Talbot (référence 147) et dans l'étude de McCance et coll. effectuée pour le Medical Research Council (référence 108). Ce point a déjà été traité au chapitre 1. Cependant, ce qu'on ignore, c'est qu'un projet parallèle de R et D avait été entrepris en vue de remplacer la ceinture de sauvetage gonflable de la Royal Navy. La recherche était dirigée par le Lt capf George Nicholl qui avait servi pendant la guerre dans le commandement de l'aéronavale et qui était conseiller technique au sein du Royal Naval Life Saving Committee. Il était assisté par le très compétent E.C.B. Lee, qui avait été officier de la marine et avait fait son service pendant la guerre aussi. Ils ont consigné de nombreux témoignages de personnes qui avaient assisté à des noyades et aussi à des sauvetages. Ces travaux ont permis de produire une série de rapports qui, malheureusement, semblent avoir été perdus, mais heureusement, Nicholl avait publié la majeure partie de ses résultats dans le premier manuel de survie en mer dont la sortie, en 1960, a coïncidé avec la convention SOLAS de 1960 (référence 123).

Lee a poursuivi ses travaux pour améliorer les gilets de sauvetage et a publié un article à Rome, en 1965, sur le comportement qu'il avait observé chez des personnes qui s'étaient noyées ou presque noyées pendant la Seconde Guerre mondiale. Cette partie du chapitre est citée en totalité parce que les résultats sont fondés sur des milliers d'événements réels qui se sont produits en haute mer et qui ne peuvent être reproduits en laboratoire par des chercheurs (référence 97).

Flottabilité

Des expériences menées par Borelli et Altier, rapportées par Paoli Moccia en 1794, ont démontré que la plupart des gens ont une densité corporelle inférieure à un. Macintosh et Pask ont démontré qu'un homme inconscient, qui respire faiblement, cale dans une eau douce. Des essais effectués sur des militaires en Grande-Bretagne indiquent que près de 10 % des êtres humains ne flottent pas en eau douce et près de 2 %, en eau salée. Un homme portant des vêtements et de l'équipement militaire et sans gilet de sauvetage peut flotter par ses seuls efforts pendant 5 minutes. Des essais effectués aux États-Unis ont montré qu'il faut les forces de traction suivantes pour caler un adulte :

homme	6 lb (2,7 kg)

femme 8 lb (3,6 kg)

La flottabilité d'un homme nu dépend de son physique, de sa capacité pulmonaire et de la quantité d'eau dans ses poumons. En général, lorsqu'il est immergé dans une mer calme, un homme, de taille moyenne, pourra flotter sans faire aucun mouvement de natation en position redressée avec la bouche et les narines juste au-dessus de l'eau lorsque ses poumons contiennent la quantité d'air correspondant à une inspiration normale. Un homme de forte stature, souffrant d'embonpoint par exemple, flottera avec la bouche et les narines à l'extérieur de l'eau même s'il a vidé ses poumons par une profonde expiration. Un homme de petite stature, un homme mince par exemple, réussira à flotter avec sa bouche et ses narines à l'extérieur de l'eau s'il gonfle ses poumons autant qu'il le peut en prenant une grande inspiration. En tenant compte du pire cas, soit l'homme particulièrement gros, il faudra fournir une flottabilité additionnelle équivalente à la capacité des poumons, soit près de 4,5 litres, pour maintenir la bouche et les narines à l'extérieur de l'eau. Il faut ajouter 1,7 litre pour amener le reste de la tête et le cou hors de l'eau afin d'assurer une marge de sécurité, ce qui exige une flottabilité totale de 6,2 litres. Pour un survivant en mer, il faut une flottabilité additionnelle qui tienne compte de ce qui suit :

le poids des vêtements et des chaussures imbibés d'eau;

le poids éventuel de l'eau dans les poumons (pour un homme noyé, les poumons pèsent 9 lb (4 kg) dans l'eau;

une partie du gilet de sauvetage demeure habituellement au-dessus de l'eau et ne contribue pas à la flottabilité totale.

Posture

Les extrémités du corps sont plus denses que le tronc et la colonne vertébrale permet de se plier vers l'avant plus facilement que vers l'arrière. Un homme inconscient dans une eau calme a donc tendance à flotter le visage vers le bas, sa tête légèrement fléchie et le menton reposant sur la poitrine (une défense naturelle dans le milieu ambiant normal de l'homme, ce qui facilite la respiration); la pesanteur des bras et des jambes de même que la souplesse des articulations des épaules et des hanches incitent les membres à pendre verticalement. Le fait de porter des chaussures assez lourdes, comme des bottes de marins, augmente cet effet et l'urine dans la vessie de même que l'ossature pelvienne lourde entraînent les jambes vers le bas. L'air présent dans les poumons, l'estomac et la partie supérieure des intestins agit pour fournir une certaine flottabilité et le corps flotte ainsi avec la partie supérieure et intermédiaire du tronc vers le haut. La personne inconsciente qui n'est pas aidée par un gilet de sauvetage et qui flotte le visage vers le bas se noiera. La posture d'une femme inconsciente dépend de sa morphologie corporelle. Certaines femmes ont les mêmes caractéristiques de flottaison que les hommes; d'autres, dotées d'une forte poitrine et d'une mince couche de gras sur la paroi abdominale et les cuisses, flotteront le visage vers le haut et une jupe imbibée d'eau pendant vers le bas les maintiendra en stabilité dans cette position. Tout appareil de flottaison attaché au corps modifiera la posture et devrait être assez gros et placé de façon à maintenir la bouche et les narines à l'extérieur de l'eau. Une posture verticale offre moins de résistance aux oscillations verticales et place le survivant dans une position où il y a le plus grand risque d'immersion périodique de sa bouche et de ses narines. Le risque de blessure provenant d'explosions sous-marines est aussi plus grand. La position horizontale couchée sur le dos protège le mieux le corps des risques d'explosions sous-marines, mais le place dans une position où les risques de mort par étouffement sont encore plus grands. Une personne complètement inconsciente, flottant sur le dos, peut mourir de suffocation à cause de sa langue qui tombe vers l'arrière. La position horizontale couchée sur le ventre permet d'éviter les décès par étouffement, mais la grande quantité de flottabilité nécessaire pour maintenir la bouche et les narines suffisamment à l'extérieur de l'eau rendrait le gilet de sauvetage trop volumineux. Une posture intermédiaire entre la position verticale et la position horizontale couchée sur le dos est la meilleure.

Stabilité

La flottabilité du gilet de sauvetage doit être répartie de manière à rendre la personne instable dans la position ventrale et stable dans la position dorsale

En d'autres mots, si l'on considère la personne et le gilet de sauvetage comme un seul corps flottant, le métacentre devrait se situer sous le centre de gravité, dans la position sur le ventre, et au-dessus du centre de gravité, dans la position sur le dos. Le centre de gravité d'un homme de stature moyenne est à un point légèrement plus haut que la moitié de sa hauteur à partir de la plante des pieds (debout) et demeure constant quel que soit l'âge de la personne. Le centre de gravité a tendance à être plus bas pour les personnes de plus petite taille et plus haut pour les personnes de plus grande taille. Le moment de rotation maximal pour retourner un homme immergé sur le dos et le maintenir dans cette position est obtenu en augmentant au maximum l'écart entre le centre de flottabilité du gilet de sauvetage et le centre de gravité de la personne. On y parvient en modelant le gilet de sauvetage et en l'attachant à la personne de façon à ce que le centre de flottabilité soit aussi loin et aussi haut que possible sur l'avant de la poitrine. La flottabilité est nécessaire pour soutenir l'arrière du cou et pour éviter que la tête ne penche vers l'avant jusqu'à ce que les orifices de respiration se trouvent sous l'eau. Cette flottabilité réduit le moment de redressement du gilet de sauvetage, il faut donc que l'appareil fournisse juste assez de flottabilité pour soutenir la tête. La flottabilité nécessaire pour le redressement automatique d'un survivant inconscient depuis la position ventrale est supérieure à ce qui est nécessaire pour assurer une flottaison sûre dans la position dorsale. La partie du corps qui reste dans l'eau dans la position dorsale devrait donc suffire pour la flottaison et la stabilité.

Effet des vagues

Les vagues impriment un mouvement vertical à une personne immergée dans l'eau et, dans certaines circonstances, le mouvement peut se produire à contretemps avec le mouvement des vagues avec la conséquence que la personne peut s'enfoncer sous la vague. Le gilet de sauvetage devrait avoir une réserve de flottabilité suffisante et la posture de la personne devrait lui permettre de résister au mouvement vertical par rapport à la surface de l'eau. La partie émergée du gilet de sauvetage devrait être d'une forme qui agit comme brise-lames pour éloigner les éclaboussures du visage. Les survivants préfèrent faire face à la vague, ils peuvent se préparer et synchroniser leur respiration pour produire une flottabilité personnelle maximale. En se plaçant dos aux vagues, il est possible que la vague passe par-dessus la tête et mouille le visage. Un gilet de sauvetage bien conçu maintiendra le survivant dans une position qui lui permette de faire face aux vagues. Le vent stabilisera aussi le survivant dans une position où il fait face au vent, le vent et les vagues étant habituellement dans la même direction.

Effet des eaux agitées

L'air compris dans les eaux agitées, les vagues déferlantes et l'écume nuisent à la flottabilité. Par conséquent, dans ces conditions, le survivant s'enfoncera plus profondément dans l'eau.

Effet du saut

Pendant l'abandon d'un navire, il faut parfois sauter dans l'eau depuis un point situé très haut. Le gilet de sauvetage devrait donc n'infliger aucune blessure à la personne qui le porte, il ne doit pas non plus s'endommager lors de l'impact avec l'eau. Habituellement, la personne sautera les pieds devant, les jambes collées et les genoux légèrement fléchis, la bouche fermée, un bras en travers du gilet pour le garder près du corps et le pouce et l'index de l'autre main pour pincer le nez après avoir pris une profonde respiration et avant de toucher l'eau. De cette façon, on évite que la tête ne frappe des débris flottant dans l'eau, qu'une blessure ne soit produite par le gilet de sauvetage et que le choc de l'eau froide qui entre dans le nez ne soit trop fort.

Progrès réalisés au cours des 40 dernières années en matière de réglementation et de normalisation

Lorsque Pask a été autorisé à déclassifier ses données (référence 107), il a pu s'employer à améliorer les normes relatives aux gilets de sauvetage. Ces travaux se sont soldés par l'introduction de l'exigence relative au redressement automatique dans la norme SOLAS 1960 de l'OMI. Par la suite, en 1963, la British Standard Institution adoptait la norme BS 3595. Pour la première fois, il était possible d'approuver des gilets de sauvetage gonflables. Initialement, 30 lb de flottabilité étaient exigées et puis, on a augmenté cette exigence à 35 lb. En 1973, la U.S. Coast Guard a introduit son règlement

sur les vêtements de flottaison individuels pour les gilets de sauvetage du type 1 à 5 et, ensuite, les Underwriters Laboratories ont adopté les normes UL 1123, 1191 et 1517. La première norme qui prescrivait 120 mm de franc bord a été introduite par l'OMI lors de la convention SOLAS de 1983. Par la suite, toute une série de normes ont été présentées par l'Allemagne (DIN 7928 et DIN 7929), le Canada (CGSB 65-7-M88 et 65-GP-14), l'UK Civil Aviation Authority, l'US Federal Aviation Administration (TSO-C-13) et enfin, le CEN (50N, 70N, 75N, 100N, 150N et la norme 275N en 1994).

Quelles ont été les conséquences de ces normes?

Puisque l'introduction de ces normes s'est effectuée en même temps qu'un bon programme de sensibilisation, l'effet sur l'amélioration des statistiques des noyades a été assez significatif dans les pays développés du monde entier. Au Canada, la Croix-Rouge, dans un rapport publié en 2000 (Barss, 2002) (référence 17), déclarait que, entre 1991 et 1995, le taux de mortalité par noyade s'était stabilisé à 1,8 décès par 100 000 Canadiens. Entre 1996 et 2000, ce taux a diminué constamment jusqu'à atteindre 1,2, soit une amélioration de 33 %. Ces chiffres représentent le sauvetage de plus de 100 vies par année. Cependant, aucune amélioration n'est perceptible chez les touristes étrangers parmi lesquels on compte 129 victimes de décès liés à l'eau entre 1991 et 1995, nombre qui est demeuré le même entre 1996 et 2000. On peut attribuer ce phénomène à l'absence d'un programme de sensibilisation s'adressant à cette catégorie de personne. La navigation de plaisance a été la cause principale des noyades et les hommes sont à plus haut risque. Au cours de la période entre 1991 et 1995, seulement 12 % des plaisanciers qui se sont noyés portaient un vêtement de flottaison individuel (VFI) et, entre 1996 à 2000, le pourcentage était de 11 %!

La base de données sur la santé mondiale illustre aussi cette tendance dans les statistiques des noyades, sauf en ce qui concerne les pays à revenus faibles et moyens. Le taux global de noyade était de 7,4 par 100 000 habitants, ce qui équivaut à la perte de 449 000 personnes noyées par année et 1,3 million de personnes ont souffert des conséquences d'une quasi-noyade. Les hommes sont les plus vulnérables suivis par les enfants de moins de cinq ans. Mais en Afrique, le taux actuel de noyade est de 13,1 par 100 000 habitants (Peden, 2002) (référence 130). Ces chiffres sont courants partout dans le monde. Dans les Pays-Bas (référence 169), sur une période de 20 ans entre 1980 et 2000, il y a eu au total 8 100 décès par noyade, mais le taux de mortalité a diminué de 3,5 par 100 000 habitants en 1981 jusqu'à atteindre 1,9 en 2000 et, comme l'indiquent les statistiques canadiennes, la majorité des victimes sont des hommes. En 1971, le nombre de décès par noyade aux États-Unis représentait 20 par 100 000 embarcations enregistrées. En conséquence de l'introduction du règlement visant les vêtements de flottaison individuels et de bons programmes de sensibilisation, le taux de mortalité avait été réduit, en 1990, pour atteindre 2,9 par 100 000 embarcations enregistrées. Le Brésil a également connu une diminution importante de ses mortalités par noyade à la suite d'un intense programme de sensibilisation. En 1979, 7 210 décès par noyade ont été signalés (5,2/100 000 habitants) et ces chiffres ont été réduits, en 1998, de 18 % (Szpilman et coll., 2002) (référence 146).

Cela ne devrait pas donner lieu à de la complaisance, en effet, la noyade arrive au quatrième rang des causes de mort « accidentelle » en Australie et au sixième rang, en Nouvelle-Galles du Sud. Un peu plus que 300 personnes se noient chaque année en moyenne en Australie; un tiers de ces mortalités se produisent en Nouvelle-Galles du Sud. Depuis 1992, ces statistiques ont fluctué, le point le plus bas étant, en 1996, un taux de noyade de 1,3 par 100 000 habitants. Actuellement, le taux est de 1,8 par 100 000 habitants. Les statistiques nationales pour 1999-2000 révèlent une augmentation significative des noyades dans les lacs, les rivières et les barrages. L'hypothèse est que l'apparence lisse et calme de l'eau donne une fausse impression de sécurité et, en fait, ces conditions sont les plus dangereuses en ce qui concerne la noyade (référence 124).

Quelle est la situation actuelle?

Les chiffres mentionnés ci-dessus indiquent que plusieurs facteurs ont amélioré les statistiques des noyades au cours des dix dernières années. Ces facteurs sont, notamment, la combinaison d'une meilleure compréhension de la physiologie de

l'immersion en eau froide et de la noyade, l'amélioration de la conception de divers engins de flottaison, l'importance de la réglementation nationale et internationale renforcée par des programmes de sensibilisation largement publicisés sur la prévention de la noyade et la fourniture d'un gilet de sauvetage ou d'un vêtement de flottaison individuel pour tout le monde, qu'il s'agisse de marins professionnels, de pilotes fluviaux, de plaisanciers, de membres d'équipages d'hélicoptères survolant des plans d'eau ou d'enfants faisant une excursion en kayak.

Nous avons fait plus de progrès au cours des 50 dernières années que depuis les débuts où l'homme a pris la mer dans les temps bibliques. Le récent Congrès international sur la noyade tenu en juin 2002 portait sur les progrès réalisés dans le domaine des gilets de sauvetage et sur les futures orientations pour le XXI^{e} siècle. Assistaient à la réunion, des experts provenant d'Amérique du Nord, d'Europe, d'Amérique du Sud, du Japon, de la Chine, d'Australie et de Nouvelle-Zélande. Les paragraphes suivants ont été écrits spécialement pour traiter des recommandations formulées lors de cette rencontre.

Résultats de la rencontre portant sur la technologie des gilets de sauvetage (Amsterdam, juin 2002)

a) Nomenclature – gilet de sauvetage ou vêtement de flottaison individuel (VFI)?

Comment devrait-on nommer le dispositif de flottaison? C'est une question qui a donné lieu à un débat très chaud. En général, le dispositif pouvant se nommer gilet de sauvetage, article de sauvetage, vêtement de flottaison individuel (VFI), appareil de flottaison ou engin flottant. Le problème est que chaque définition sous-entend des caractéristiques de rendement différentes dans l'esprit des gens. En général, la plupart des gens croient qu'un gilet de sauvetage ou un article de sauvetage est pour assurer une protection en haute mer et que l'appareil possède des caractéristiques de très grande flottabilité et des propriétés de redressement automatique. La confusion est entre les termes vêtement de flottaison individuel, appareil de flottaison et engin flottant. La plupart des participants croyaient que ces termes se rapportaient à un dispositif moins performant que le gilet de sauvetage ou l'appareil de sauvetage (moins de flottabilité et aucune propriété de redressement automatique). On croit généralement que leur utilisation est pour la navigation à l'intérieur des terres et les sports nautiques plutôt que pour une utilisation professionnelle (pilotes fluviaux, équipage d'aéronef, etc.). Cela est paradoxal, car les VFI de types approuvés par les États-Unis conviennent à des acitivités en haute mer. Par conséquent, si la nomenclature n'est pas définie avec précision, le public peut être facilement induit en erreur et pourrait acheter un dispositif inadéquat pour l'activité professionnelle ou le sport auxquels il le destine.

Au début, nous étions d'avis que tous les types de dispositifs devraient être nommés gilets de sauvetage et que leur différence pourrait être montrée par une étiquette qui indiquerait le degré de flottabilité et la capacité de redressement automatique de l'appareil de flottaison. Après tout, l'exigence est exactement la même, quels que soient la condition, l'occupation ou le sport, c'est-à-dire garder les cavités oronasales au-dessus de l'eau et éviter la noyade. Cependant, après avoir présidé la réunion des spécialistes en gilets de sauvetage à Amsterdam, nous avons constaté que partout dans le monde, on distingue deux types d'appareils de flottaison et nous estimons que cette démarche devrait être adoptée par le Canada. Le premier type d'appareils, qui devraient être désignés gilets de sauvetage, sont destinés aux professionnels qui travaillent en mer; ils doivent être dotés d'une très grande flottabilité et d'une capacité de redressement automatique (davantage expliquée un peu plus loin). Les appareils du deuxième type, qui doivent être dotés d'aussi bonnes caractéristiques que les premiers qui répondent aux besoins particuliers du sport pratiqué – navigation de plaisance, voile ou kayak – sont nécessaires aux adeptes des sports nautiques. On présume que ces personnes seront conscientes lorsqu'elles tomberont à l'eau, que le besoin de redressement automatique n'est pas aussi impératif et qu'une flottabilité totale moindre est acceptable. Ce dispositif pourrait se nommer VFI et non engin flottant ou appareil de flottaison. Cette analyse a permis d'identifier un sous-groupe de professionnels de plus qui auraient besoin d'un VFI de ce genre et qui exécutent normalement leurs activités de sauvetage sur la terre ferme. Par conséquent, il faudrait

pouvoir intégrer ce dispositif à leur équipement; il s'agit des corps policiers, des pompiers et des sauveteurs qui participent à des sauvetages pendant des inondations. Il faudrait donc que, dans le processus de normalisation, on prévoit la possibilité, pour ces professionnels, d'obtenir un dispositif qui serait compatible avec le reste de leur équipement.

Si l'on doit subdiviser les dispositifs de flottaison en deux groupes (gilets de sauvetage et VFI), les normes doivent donc être interreliées, car il y a beaucoup de points communs entre elles et qu'aucune n'est complètement exclusive. Les normes révisées doivent être modifiées conformément aux nouvelles normes ISO/CEN/OMI. En outre, il faudrait que le Canada désigne des représentants pour les groupes aux réunions internationales comme celles de l'OMI, du CEN et de l'ISO.

b) Port obligatoire des gilets de sauvetage

Un règlement qui obligerait les passagers et les exploitants de petits bateaux à transporter à bord des gilets de sauvetage sans que les passagers et membres d'équipage ne soient obligés à les porter est un règlement trop faible qui n'empêche pas la noyade. Comme il a été clairement démontré au chapitre 1, lorsqu'une victime est soudainement immergée dans l'eau froide, le choc dû au froid lui fait prendre une grande inspiration qui a pour effet de l'hyperventiler pendant qu'elle essaie de maintenir ses cavités orc asales au-dessus de l'eau pour éviter de se noyer. À ce moment-là, il est pratiquement impossible d'enfiler toute forme de dispositif de flottaison. Comme Lee l'a indiqué, une personne avec des vêtements et sans aucun appareil de flottaison peut rester en surface pendant cinq minutes environ, après quoi elle se noie. Il faut donc que l'appareil de flottaison soit enfilé avant d'entrer dans l'eau. Bon nombre de pays européens exigent maintenant que les VFI soient portés à bord de tous les petits bateaux et ils appliquent le règlement. À l'heure actuelle, il n'est pas possible de faire un lien entre l'amélioration des statistiques des noyades et le port obligatoire d'un appareil de flottaison. La Société royale de sauvetage Canada est sur le point d'entreprendre l'examen de la faisabilité d'une réglementation visant le port de VFI à bord de petits bateaux.

c) Acceptation par les usagers éventuels et besoin d'un programme de sensibilisation mis à jour en permanence

Parallèlement à la nécessité d'appliquer une réglementation, il faut écouter le consommateur et observer les changements de mode dans le domaine des sports nautiques. Un bon exemple de cela est l'introduction des casques de bicyclette que la majorité du public a accepté de porter volontairement avant même que la loi ne soit adoptée, il y a trois ans environ. La raison du phénomène est que le casque de vélo est esthétique et qu'il renforce l'image virile que les personnes les plus à risques, c'est-à-dire les hommes entre 12 et 30 ans, souhaitent avoir.

Nous n'avons que récemment réussi à surmonter la difficulté que représentait l'obligation d'avoir un gilet de sauvetage dans l'orangé ou le jaune vif international et les fabricants commencent très lentement à fabriquer des vêtements de protection individuelle plus seyants et stylisés. Le comité était unanime à penser que la mode a un rôle très important à jouer dans l'acceptation ou le rejet par les personnes qui devront porter ces porter. Disons-le simplement, un gilet de sauvetage sera porté s'il est fabriqué dans des couleurs et des styles à la mode et non s'il est fait dans un tissu monotone de couleur orangée ou jaune. Avec un bon programme de sensibilisation continuellement mis à jour et s'adressant à un vaste public qui expliquerait tout sur le choc dû au froid et l'épuisement à la nage, situations où les dispositifs sont les plus nécessaires et qui sont visées par la réglementation, il sera possible d'améliorer les statistiques des noyades de manière encore plus spectaculaire. En outre, il est de la plus grande importance d'accélérer la production d'un plus grand nombre de gilets de sauvetage pour rehausser la confiance des utilisateurs et en diminuer le coût.

d) Redressement automatique

Le problème fondamental est que, jusqu'à maintenant, il n'existe aucun essai de redressement de gilets de sauvetage dans une norme nationale ou internationale qui soit bon ou fiable. L'essai actuel qui exige de nager au moins trois brasses face à l'eau et ensuite de laisser le corps se détendre

complètement n'est pas en soi un mauvais test. Il permet de vérifier les bonnes propriétés de tenue en service du gilet de sauvetage de la combinaison d'immersion, pourvu que le sujet se soit volontairement mis en position ventrale dans l'eau pour qu'on puisse faire l'essai des propriétés de redressement. De manière générale, cependant, les sujets ne réussissent pas à se détendre complètement dans l'eau pour vraiment représenter l'état d'une personne inconsciente. Même si on leur a enseigné des techniques de biofeedback pour se détendre, il est difficile d'atteindre une conformité internationale. En outre, l'essai ne tient pas compte des personnes qui tombent par-dessus bord d'un navire et qui pénètrent dans l'eau dans différentes positions, ce qui ne peut être simulé. Il a été noté que, en de nombreuses occasions, des gilets de sauvetage approuvés par le SOLAS ne retournaient pas les personnes vêtues d'une combinaison d'immersion doublée (Hermann, 1988) (référence 76) et (Armstrong et coll., 1994) (référence 11).

La principale raison est qu'il y a encore des problèmes pratiques à régler en matière de normalisation. Supposons qu'un fabricant A de gilets de sauvetage et qu'un fabricant B de combinaisons travaillent indépendamment. La combinaison de B est soumise aux essais avec le gilet de sauvetage de A dans un essai combiné, qu'elle réussit. Sans le dire à B, A apporte une petite modification à la conception de son gilet qui n'a aucune incidence sur l'approbation du gilet de sauvetage A seul, mais, maintenant, l'ensemble du gilet A et de la combinaison B ne réussit plus les essais. Qui est responsable? Comment devrait-on réglementer cet aspect? La réponse est qu'il faut élaborer une nouvelle norme visant des combinaisons intégrées. Cela réglerait le problème de l'ajout d'une autre couche de vêtement (c.-à-d. le gilet de sauvetage) qui diminue l'acuité de la vision et de l'ouïe ainsi que l'aptitude à nager. Dans bien des cas, lorsque la combinaison est portée avec le gilet de sauvetage Newton 275, il faut le dégonfler partiellement pour pouvoir grimper à bord d'un radeau de sauvetage.

Il y a d'abord la nécessité de trouver un essai de redressement automatique qui soit efficace et réaliste. Ce ne sera possible qu'avec un mannequin. Le premier effort a été fait à la suite de la catastrophe de l'embarcation de sauvetage de Rye Harbour en 1928 (référence 100). Par la suite, rien n'a été entrepris jusqu'aux expériences de Macintosh et Pask (référence 107) pendant la Seconde Guerre mondiale. Par la suite, Pask a acheté un mannequin utilisé pour les essais de collision de la société Sierra Engineering (Sierra Sam) pour évaluer les angles de flottaison et les capacités de redressement automatique. Sierra Sam est toujours utilisé avec beaucoup de succès par Hermann à l'Institute of Occupational Medicine à Hambourg. Le RGIT à Aberdeen, en collaboration avec le RAF Institute of Medicine, a développé davantage ce concept et a produit un mannequin adulte nommé RAMM. Sa position de flottaison a été réglée sur celle des humains et c'est présentement le seul mannequin assez robuste pour être jeté par-dessus bord d'un navire dans la mer avec différentes combinaisons de vêtements et de gilets de sauvetage. Le RGIT a également construit un mannequin enfant et bébé. Le plus récent des mannequins nommé SWIM, qui a été mis au point conjointement par la U.S. Coast Guard et Transports Canada, n'est pas encore fiable et certainement pas assez robuste. La prochaine étape serait de développer davantage la technologie des mannequins SWIM et RAMM ensemble. On pourra alors élaborer un essai de redressement automatique standard. Une autre solution, ou démarche à deux volets, serait d'améliorer la fidélité du gilet de sauvetage de référence de la U.S. Coast Guard.

Lors de la réunion d'Amsterdam, un groupe issu de l'OMI/ISO/CEN a effectué un essai pratique à Rotterdam. La plupart des gilets de sauvetage approuvés se sont révélés inaptes à redresser une personne vêtue d'une combinaison de sauvetage. Cet essai a déclenché une vaste discussion sur le besoin du redressement automatique ou non. Il faut prendre du recul pour se demander pourquoi cette exigence a été introduite initialement dans la réglementation SOLAS 1960 de l'OMI. Depuis le début de ce rapport, le lecteur aura compris qu'au cours des quinze premières années de la recherche d'après-guerre sur la physiologie de l'immersion en eau froide, on avait mis l'accent sur la noyade par hypothermie. La logique étant que si la personne devenait semi-consciente ou inconsciente et qu'une vague la tournait de manière à avoir le visage dans l'eau, le gilet de sauvetage devait pouvoir la retourner automatiquement le visage vers le haut.

Cependant, qu'elles que soient les conditions de la mer et même en portant le gilet de sauvetage le plus efficace, la sangle d'entrejambe et l'écran facial, il est fort peu probable qu'une personne inconsciente ne se noie pas avant son sauvetage.

Cette exigence du redressement automatique a été renforcée par l'opinion des critiques qui ont fait valoir que c'était nécessaire dans le cas d'une personne qui s'assommait et perdait conscience en tombant par-dessus bord. Cependant, même si cela se produisait, le fait d'être emporté par-dessus bord n'est pas un événement très rare, mais être emporté en état d'inconscience est vraiment très rare. Dans la majorité des 140 000 décès en mer par année, les gens sont conscients lorsqu'ils sont soudainement immergés en eau froide.

Le mécanisme de redressement se décrit comme l'action d'un levier asymétrique. Il peut être réalisé avec très peu de flottabilité si a) l'ajustement de la combinaison est bon et que le gilet de sauvetage est assez serré pour que la personne et le gilet forment un tout, b) l'endroit où est placé le matériau flottant est précis et c) une sangle d'entrejambe est portée. Cependant, pour que cela se produise, comme on l'a démontré clairement à Rotterdam où les combinaisons n'étaient généralement pas assez ajustées et où le consommateur doit choisir parmi beaucoup d'options de gilets de sauvetage et de combinaisons d'immersion qui ne sont ni conçus, ni intégrés, ni testés, ni approuvés comme formant un ensemble (voir chapitre 6), la flottabilité de la combinaison qui assure la protection thermique peut nuir au redressement automatique.

Le problème se complexifie dans le cas d'un hélicoptère inversé qui s'enfonce rapidement dans l'eau. Même si l'équipage et les passagers portent une combinaison d'immersion et un gilet de sauvetage approuvés, lorsque le gilet est portée par-dessus la combinaison, il se peut que le gilet ne retourne pas la victime lorsqu'elle fait surface. Mais si la victime est inconsciente au moment où l'appareil s'abîme en mer, il est fort improbable qu'elle puisse même s'échapper du fuselage. Si l'on suppose qu'elle est consciente au moment de faire surface, le besoin de redressement automatique n'est pas si important.

Vers 1767, la Royal Society of Art a offert un gilet de sauvetage pneumatique à l'amirauté pour 27 shillings et un gilet en tissu insubmersible pour 5 shillings (référence 29). Le lecteur ne sera pas étonné d'apprendre que leurs seigneuries ont choisi le gilet le moins cher. L'histoire se répète et, comme un propriétaire de navire l'a déclaré assez clairement lors de la conférence, en autant que le gilet soit accompagné d'un certificat d'approbation, nous achèterons toujours celui qui coûte le moins cher. Il y a donc un compromis à faire entre l'acceptation de l'usager éventuel, les coûts et le rendement; la qualité a un prix. La meilleure valeur à obtenir d'un investissement pour sauver des vies serait d'assurer d'abord une flottaison qui permettrait à la personne de remonter à la surface le plus rapidement possible et ainsi éviter, dans une certaine mesure, le choc dû au froid, et ensuite, il faudrait conserver les cavités oronasales hors de l'eau pour que la personne puisse attendre les sauveteurs ou nager jusqu'à un refuge sûr.

Nous n'appuyons pas l'élimination de l'exigence du redressement automatique, mais nous recommandons que cette exigence ne soit appliquée qu'à des types particuliers très perfectionnés de gilets de sauvetage, c'est-à-dire ceux qui sont destinés aux pilotes d'avions de combat qui, dans le cas d'une éjection à haute vitesse et à faible hauteur, pourraient être projetés violemment dans l'eau dans un angle anormal. Plus tard, lorsque la technologie sera plus avancée et qu'il sera plus économique de produire des gilets de sauvetage, il sera alors possible d'ajouter cette exigence à des gilets de sauvetage utilisés en mer et, enfin, pour des ensembles intégrés de combinaisons d'immersion et gilets de sauvetage.

Une façon beaucoup plus pratique de sauver des vies serait d'enlever l'exigence du redressement automatique et de la remplacer par une norme de rendement prescrivant un bon maintien des cavités oronasales hors de l'eau et l'exigence que l'appareil entraîne un état instable dans la position ventrale et un état stable dans la position dorsale.

e) Écran facial et sangle d'entrejambe

Toute personne qui a navigué par gros temps comprend l'amélioration que représente l'ajout d'un

écran facial et d'une sangle d'entrejambe. Malgré cela, très peu de fabricants munissent leurs gilets de ces accessoires et très peu de personnes attachent la sangle d'entrejambe, le cas échéant. Il s'agit là d'un autre problème de sensibilisation et la prochaine série de programmes devrait faire valoir les avantages de ces accessoires. Tous ceux qui ont assisté à la réunion des spécialistes étaient favorables à l'idée de promouvoir l'importance des écrans faciaux et des sangles d'entrejambe.

Résumé du chapitre 5

Ce chapitre est consacré aux effets de l'évolution rapide de la conception des gilets de sauvetage depuis 1945 et aux problèmes techniques actuels qui ont été abordés lors de la conférence sur les noyades qui a eu lieu à Amsterdam en juin 2002.

- En 2000, les normes internationales et nationales en vigueur relatives aux gilets de sauvetage et aux vêtements de flottaison individuels ont contribué à la diminution des mortalités par noyade dans le monde entier jusqu'au taux de 7,4 par 100 000 habitants. Dans les pays plus développés, l'amélioration a été encore plus frappante. Le Canada affiche maintenant un taux de 1,2 par 100 000 habitants et les Pays-Bas ont un taux de 1,9 par 100 000 habitants. Le point commun dans tous ces pays est le fait que les hommes âgés de 15 à 35 ans sont les plus vulnérables et que 10 %, environ, des victimes par noyade portaient un appareil de flottaison.
- Plusieurs problèmes doivent être réglés :
  a) la nomenclature des dispositifs de flottaison - gilets de sauvetage ou VFI, etc.
  b) la question de savoir s'il faut imposer la capacité de redressement automatique ou non;
  c) l'élaboration d'un essai de redressement automatique fiable;
  d) s'il faut maintenir l'exigence du redressement automatique lorsque la personne porte une combinaison d'immersion;
  e) la nécessité de réglementer le port obligatoire de gilets de sauvetage à bord de petits bateaux;
  f) la sensibilisation de la population à l'amélioration du rendement d'un gilet de sauvetage par l'utilisation de sangles d'entrejambe et d'écrans faciaux;
  g) l'importance du confort et la façon dont la mode influence l'acceptation par l'usager.
- Dans la conception de tout dispositif de flottaison, les critères les plus importants sont : a) ramener la victime à la surface aussi rapidement que possible pour la protéger contre la noyade par choc dû au froid, b) assurer un bon dégagement des cavités oronasales pour éviter la noyade pendant la période suivant le stade du choc dû au froid et c) produire une position instable lorsque la victime est sur le ventre et assurer une position stable lorsque la victime est sur le dos pour la protéger de la noyade pendant l'installation de l'hypothermie
- Les appareils de flottaison doivent être classés soit comme gilets de sauvetage pour des activités en mer, soit comme vêtements de flottaison individuels s'il s'agit d'une utilisation à des fins récréatives et domestiques. Les normes actuelles devraient être modifiées pour reconnaître ces deux catégories d'appareils de flottaison qui partagent un grand nombre de caractéristiques communes et qui devraient être conformes aux nouvelles normes combinées de l'ISO et du CEN.
- Si l'on choisit d'élaborer de nouvelles normes relatives aux gilets de sauvetage (zones côtières et extracôtières) et aux VFI (généralement pour usage domestique et récréatif), compte tenu du grand nombre de points communs entre elles, il faudrait que l'élaboration de ces deux normes soit faite en consultation. De plus, il est essentiel que le président du comité, de préférence, ou un représentant principal des deux comités, assiste aux rencontres de l'autre comité ainsi qu'aux réunions internationales qui se dérouleront au sein de l'OMI, de l'ISO et du CEN. Si des efforts ne sont pas consentis dans ce sens, une situation incongrue pourrait se produire où des paramètres essentiels communs pourraient être appliqués de manière contradictoire.

CHAPITRE 6

QUI DOIT-ON PROTÉGER ET QUELLE SERAIT LA RÉGLEMENTATION NÉCESSAIRE?

Qui doit - on protéger?

Il est important de se rappeler ce que Golden disait, dans sa présentation à la réunion de Commission des comités européens, à Luxembourg, en 1983, pour traiter des problèmes d'hypothermie, d'exposition, de sauvetage et de traitement. Ses propos sont cités intégralement. Ils sont aussi vrais aujourd'hui qu'ils l'étaient il y a dix-neuf ans.

Les facteurs ci-dessus montrent l'importance d'une évaluation sérieuse de tous les aspects de la menace avant de trouver une solution au problème. Il est évident que lorsqu'on examine les problèmes environnementaux liés à l'industrie européenne d'exploitation gazière et pétrolière en mer, on fait face à un problème complexe multifactoriel dont beaucoup d'aspects sont interreliés. Le fait de trouver une solution pour l'un des aspects ne réglera probablement pas l'ensemble du problème. On a eu tendance, ces dernieres années, à exagérer le problème de l'hypothermie, alors que les conséquences très graves de l'effet paralysant du froid mèneront probablement plus à la mort par noyade très longtemps avant que l'hypothermie ne se développe. En concentrant ses efforts sur le port de vêtements de protection individuels qui doivent retarder l'hypothermie consécutive à une immersion, bien souvent, on s'engage dans une voie qui n'est pas seulement très coûteuse mais qui exige un tel degré de perfectionnement technique qu'il y a un danger que le vêtement ne fonctionne pas comme prévu lorsqu'il est enfilé rapidement lors d'une urgence. Comme la majorité des décès se produisent aux premiers stades de l'immersion avant que l'hypothermie ne s'installe, les efforts de protection doivent être dirigés contre les effets paralysants à court terme du froid et la protection contre la noyade.

S'ajoute à cette importante constatation, le conseil donné par Tipton en 1993 (référence 156). Dans son article, il recommandait que, avant de fournir un équipement de protection à une personne, l'on définisse tous les dangers. En présence de multiples dangers, les différentes parties de l'équipement mis au point pour protéger la personne contre chacun de ces dangers devraient être considérées comme des éléments constitutifs d'un tout. Ces éléments doivent interagir et fonctionner en un système de survie intégré qui doit être normalisé et classé en conséquence.

En plus des disciplines militaires, il existe fondamentalement onze catégories d'activités professionnelles que l'on peut classer en trois groupes de personnes nécessitant une protection. Bon nombre de ces personnes ont besoin d'équipement assez semblable avec des modifications en fonction de leurs tâches particulières. Avant toute chose, il est important de définir ces groupes. Pour expliquer la logique du classement de ces activités en trois catégories, voici quelques exemples d'accidents qui se sont produits récemment.

Groupe I : Combinaison à port constant 0,25 clo ou 0,75 clo d'isolation

Groupe I

- **Pilotes de port et pilotes fluviaux**
- **Préposés aux ERC**
- **Pilotes d'hélicoptères et pilotes d'aéronefs légers survolant de larges étendues d'eau froide**
- **Passagers d'hélicoptères**
- **Pêcheurs professionnels et exploitants de pisciculture**
- **Yachtmans professionnels et en haute mer**
- **Propriétaires d'embarcations de plaisance et de motomarines**
- **Les personnes qui travaillent près ou au-dessus de l'eau sans dispositif antichute (p. ex. travailleurs de la construction sur un pont)**

Premièrement, examinons le cas de ceux qui doivent porter une combinaison pendant huit heures consécutives sans éprouver de problèmes ni ressentir le moindre inconfort. Les plus vulnérables sont probablement les pêcheurs. Un accident typique de cette catégorie professionnelle est présenté ci-dessous. Si les secours sont assez proches et que les survivants peuvent être sauvés dans les 90 minutes suivant l'accident, on pourra concevoir pour eux une combinaison sèche et légère de très bonne qualité dotée d'une isolation de 0,25 clo en état d'immersion.

Pêcheur tué lorsqu'un seineur de hareng chavire : six hommes d'équipage ont survécu. (The Chronicle Herald, 3 octobre 2000)

Le capitaine d'un seineur de hareng est mort dimanche soir lorsque lui-même et ses six hommes d'équipage ont été jetés à l'eau lors du chavirage de leur embarcation chargée à bloc de poissons au large de Yarmouth. Un septième homme d'équipage, qui se trouvait dans une embarcation à moteur tout près, a assisté horrifié au chavirage en quelques secondes du Flying Swan de 21 mètres au large de Wedgeport, situé à 53 kilomètres au sud de Yarmouth.

La même logique peut être appliquée à la profession de pilotes de port ou de pilotes fluviaux comme le démontre l'accident raconté ci-dessous.

Deux membres d'équipage manquent à l'appel après le naufrage d'un remorqueur. (Globe & Mail, 24 octobre 2001)

Détroit. Deux membres d'équipage ont disparu après qu'un remorqueur chargé de la livraison du courrier et du transport des pilotes à bord des cargos qui sillonnent les Grands Lacs s'est renversé et a coulé dans la rivière Détroit tôt hier matin, a déclaré la garde côtière américaine. Deux autres pilotes de cargos canadiens ont été sauvés. L'accident s'est produit alors que le remorqueur J.W. Westcott II amenait deux pilotes à bord du Sidsel Knutsen, un pétrolier norvégien transportant du carburant, a dit le lieutenant-commandant Brian Hall de la garde côtière.

Le troisième cas d'opération de sauvetage cité ci-dessous est celui où il n'y a pas assez de détails pour tirer des conclusions, car la période d'immersion dans l'eau n'est pas indiquée, ni le type de combinaison (humide ou sèche). C'est, par ailleurs, un bon cas pour illustrer que les exploitants doivent pouvoir choisir la combinaison qu'ils utiliseront, en fonction de la période prévue de sauvetage et de la température de l'eau. Dans ce cas, la probabilité du décès par choc dû au froid ou par épuisement à la nage dans les premières minutes d'une immersion est élevée, par conséquent, l'exigence minimale devrait être une combinaison sèche de 0,25 clo. Toutefois, si les secours ne peuvent être garantis dans les 90 minutes suivant l'immersion, une combinaison sèche de 0,75 clo serait préférable.

Deux personnes meurent lorsqu'un navire de la garde côtière américaine chavire. (The Halifax Herald, 25 mars 2001)

Un navire de la garde côtière américaine qui patrouillait sur la rivière Niagara le long de la frontière canado-américaine a chaviré et deux des quatre membres d'équipage sont morts samedi après avoir flotté pendant des heures dans les eaux glacées du lac Ontario. « Une vague de quatre pieds (1,2 mètre) a frappé de plein fouet la proue, a inondé le pont et a complètement retourné le navire » a dit Adam Wine, premier maître de la base de Buffalo de la garde côtière. Le radeau gonflable à coque rigide de 6,5 mètres a été trouvé qui flottait coque en l'air près des berges du lac à environ 1,5 kilomètres à l'est de l'embouchure de la rivière et l'équipage a été rescapé un peu après minuit à 5 kilomètres environ au nord-est de la rivière, a rapporté M. Wine. La rivière était assez houleuse vendredi soir, avec des vagues d'à peu près un demi-mètre de hauteur et, occasionnellement, les lames atteignant jusqu'à un mètre de hauteur. L'équipage devait se signaler toutes les demi-heures mais ne l'a jamais fait, et des recherches aériennes et terrestres effectuées en collaboration avec différentes autorités ont commencé deux heures environ après que le bateau a quitté le port. Le sauvetage a été rendu difficile par une forte averse de neige. Une embarcation de sauvetage et d'incendie a trouvé les quatre hommes et a procédé à leur sauvetage, mais on n'a pas pu déterminer combien de temps l'équipage avait passé dans l'eau.

Le quatrième accident présenté ci-dessous illustre que les équipages d'aéronefs autres que militaires qui survolent de grandes étendues d'eau froide ont aussi besoin d'être protégés. Le pilote dont il est question plus bas n'était pas protégé et il a disparu au large des Grands Bancs de Terre-Neuve. On ne peut que spéculer sur la façon dont le décès s'est produit, mais il est probable qu'il soit survenu à

cause d'un choc dû au froid, car la cabine s'est rapidement remplie d'eau. Il se pourrait que la personne ait aussi subi une blessure qui l'aurait empêchée d'ouvrir la porte pour s'échapper. En conséquence, ce genre d'activités professionnelles exigent aussi le port constant d'une combinaison d'immersion confortable. La décision de porter une combinaison légère de 0,25 clo en état d'immersion pourra être prise en déterminant si le sauvetage peut être garanti dans les 90 minutes suivant l'accident ou s'il est possible pour les naufragés de monter à bord d'un radeau de sauvetage, sinon, une combinaison de 0,75 clo est nécessaire.

Recherche en mer d'un pilote disparu : un homme originaire de Floride a disparu en mer après la panne de moteur de son biplace. (The Sunday Herald, 23 septembre 2001)

Des recherches aériennes et maritimes sont en cours pour trouver un homme originaire de Floride dont le petit avion s'est écrasé en mer près de la plateforme d'exploitation pétrolière Hibernia, à quelque 370 kilomètres à l'est de St. John's. Le pilote suivait l'itinéraire habituel des petits avions volant entre St. John's et les Açores, a envoyé un message radio vers 6 h 30 disant que le seul moteur de son biplace Cessna 172 était tombé en panne et qu'il s'écrasait dans l'océan. On croit qu'il n'avait pas de radeau de sauvetage et qu'il ne portait pas de combinaison de survie. La houle atteignait un mètre de hauteur, des vents légers soufflaient à environ 30 kilomètres à l'heure et la température de l'eau était d'environ 13 °C. Les sauveteurs ont déclaré que la visibilité était bonne.

La norme qui s'applique actuellement au groupe I exige que la combinaison d'immersion ait une isolation de 0,75 clo en état d'immersion. Comme la combinaison de 0,75 clo peut être chaude et inconfortable dans l'air, il est possible, que parfois, on néglige de la porter ou qu'elle soit mal fermée. Il est important que la personne qui doit la porter sache pourquoi, quand et comment la porter et qu'elle connaisse les dangers d'une infiltration d'eau. Sinon, comme nous le montre le paragraphe suivant, la combinaison ne sera d'aucune utilité. L'enquête qui a suivi l'accident du Super Puma Cormorant A en 1992 (référence 2) pour savoir si les survivants ou les morts portaient correctement leur combinaison d'immersion ne rapporte qu'en termes vagues les événements, ce qui jette un doute sur cette possibilité. Il semble que la plupart des personnes en cause portaient leur combinaison avec la fermeture centrale remontée jusqu'à au moins trois pouces du haut. On croit également que la plupart d'entre elles avaient mis le capuchon au moment de l'accident. La combinaison que portait la victime à qui on a attribué le code NS2 était la seule à être reconnue comme ayant pris beaucoup d'eau. La fermeture à glissière était partiellement descendue, mais on n'a pas pu déterminer si elle était comme cela au moment de l'accident. Le rapport se lisait comme suit :

La température de l'eau était à 7 °C et on a estimé que les vagues avaient de 8 à 11 mètres de hauteur. Après avoir frappé l'eau, l'hélicoptère s'est immédiatement renversé, a flotté quelques instants et a coulé. Malheureusement, seulement 12 des occupants, 10 passagers et 2 membres d'équipage, ont pu s'échapper et, par la suite, 6 d'entre eux ont été récupérés dans l'eau déjà morts. Les survivants, 5 passagers et 1 membre d'equipage, ont été rescapés entre 40 et 85 minutes après l'accident. Certains de ces survivants ont déclaré plus tard qu'ils étaient entrés dans l'eau avec leur combinaison d'immersion mal fermée, mais ils ne se sont pas rendus compte si de l'eau avait pénétré. Les sauveteurs ont également déclaré qu'ils ont trouvé des corps dont la combinaison était en partie ouverte et remplie d'eau. De plus, les plongeurs qui ont récupéré les 5 autres victimes du naufrage ont confirmé qu'elles portaient aussi des combinaisons d'immersion qui n'étaient pas complètement fermées.

Il semblerait qu'en tentant de protéger de l'hypothermie ces personnes du groupe I, nous les avons, jusqu'à un certain point, surprotégées en leur imposant une combinaison à port constant. Pour l'avenir, en autant que la combinaison d'immersion soit mise à l'essai avec le gilet de sauvetage en tant que système intégré, on pourra destiner à ce groupe de personnes des combinaisons d'immersion approuvées conformément au nouveau projet de norme ISO/FDIS 15027-3 :

Catégorie A : Sujets exposés à un séjour dans l'eau plus froide que 2 °C pendant 6 heures.
Catégorie B : Sujets exposés à un séjour dans l'eau plus froide que 2 °C pendant 4 heures.
Catégorie C : Sujets exposés à un séjour dans l'eau plus froide que 5 °C pendant 2 heures.
Catégorie D : Sujets exposés à un séjour dans l'eau plus froide que 5 °C pendant 1 heure ou sujets exposés à un séjour dans l'eau plus froide que 15 °C pendant 2 heures.

L'exploitant a ainsi le choix de la combinaison la plus appropriée au milieu de travail de ses employés.

Les premiers travaux effectués au Royaume-Uni sur les tenues de survie pour pêcheurs sont très méritoires, car créer une combinaison adaptée aux besoins des pêcheurs constitue le plus grand défi des concepteurs. Il y a eu, cependant, d'énormes progrès réalisés grâce aux nouveaux tissus revêtus de PVC et d'uréthane; les fabricants cherchent maintenant à créer des combinaisons adaptées aux différentes catérories de pêcheurs, p. ex. pêcheurs de homards, pêcheurs de pétoncles. La première étape serait de rédiger une nouvelle norme qui prescrirait que toutes les parties de la combinaison soient insubmersibles, mais on est encore loin du but. Actuellement, la solution à un grand nombre de problèmes n'est plus entre les mains des fabricants de vêtements, elle relève plutôt de la compétence des chimistes organiques et des créateurs de tissus qui ont besoin de fonds supplémentaires pour faire un bond en avant sur le plan technologique.

Groupe II : Combinaisons flottantes en cas de naufrage

Les deux types d'occupations présentées ci-dessous exigent le port d'une combinaison flottante en cas de naufrage de 0,75 clo d'isolation en état d'immersion.

Groupe II

- Personnel navigant d'entreprises de transport maritime – zone côtière/extracôtière
- Équipe travaillant sur des plates-formes d'exploitation pétrolière en mer

Le deuxième groupe comprend toutes les personnes qui travaillent en mer et qui pourraient devoir abandonner un navire. Leurs vêtements de travail sont des tenues de travail industrielles ordinaires. Lorsqu'il faut qu'elles abandonnent le navire, ces personnes doivent enfiler en moins d'une minute une combinaison d'immersion de 0,75 clo d'isolation ou ce qu'on appelle couramment combinaison flottante en cas de naufrage. Voici des exemples qui démontrent que la survie est possible lorsque la tenue est portée et ce qu'il advient en cas contraire.

Le 16 janvier 1998, en route entre Rotterdam et Montréal, le Flare s'est cassé en deux par gros temps et a coulé à 45 milles au sud-ouest de l'île de Saint-Pierre et Miquelon. Seuls quatre marins ont été sauvés. Le sergent Isaacs, technicien de recherche et de sauvetage qui a dirigé les manœuvres de sauvetage, a signalé que quatre hommes étaient vivants et qu'ils s'accrochaient au radeau de sauvetage. Trois d'entre eux étaient en hypothermie sévère en raison de vêtements inadéquats (température centrale du corps de 26 à 28 °C), mais le quatrième avait pu se vêtir de tout ce qu'il avait à sa disposition avant d'abandonner le navire et qu'il était en très bon état physique. Vingt-deux marins sont morts de noyade et d'hypothermie. Leurs corps qui ont été repêchés étaient très peu vêtus, la plupart d'entre eux ne portaient ni chaussures ni chaussettes. Dans ce cas-ci, si les marins avaient enfilé une bonne combinaison flottante, ils auraient probablement survécu. Un bon exemple de l'efficacité de cette combinaison est le cas de l'homme de pont du Patricia MacAlister qui a réussi à mettre sa combinaison d'immersion lors du naufrage du navire (référence 161). Il a été repêché plusieurs heures plus tard dans le golfe Saint-Laurent, alors que les cinq autres membres d'équipage du remorqueur qui n'avaient pas eu le temps d'enfiler la combinaison sont morts probablement de noyade produite par le choc dû au froid. Il y a eu plusieurs autres accidents dans les eaux côtières canadiennes et américaines où le port de combinaisons flottantes de survie aurait été bénéfique. (Marine Electric (1983), Charlie (1990), Protektor 1991, Gold Bond Conveyor (1993)). On ne met pas en doute le fait que les combinaisons d'immersion protègent les gens des quatre stades de l'immersion en eau froide, mais elles n'offrent pas de garantie absolue.

Un bateau de pêche coule, en Colombie-

Britannique, tuant deux personnes (The Sunday Herald, 28 octobre 2001)

Victoria – Deux hommes sont morts mais deux autres ont survécu après le naufrage d'un bateau de pêche de Comox, en Colombie-Britannique, qui naviguait par grosse mer au large de la pointe nord de l'île de Vancouver. Un des membres d'équipage, Beauchamp Englemark, 27 ans, résident de Comox, a été le premier des quatre marins trouvés par le Kella-Lee. Il portait une combinaison de survie lorsque les sauveteurs l'ont tiré à bord du bateau de la garde côtière le John P. Tully autour de 7 h 30 vendredi. Le corps d'un autre membre d'équipage, revêtu lui aussi d'une combinaison de survie, a été retrouvé vers 12 h, vendredi, et le corps d'un troisième, qui n'était pas vêtu d'une combinaison de survie, a été récupéré vers 15 h. Le quatrième homme, vêtu d'une combinaison de survie et à bord d'un radeau de sauvetage a été repéré juste avant 16 h, il était en bonne santé et on a pu le sortir des eaux glaciales vers 17 h 15.

On ne connaît pas la raison pour laquelle l'un des deux hommes qui portaient une combinaison d'immersion dans l'accident du bateau de pêche au large de la Colombie-Britannique est mort. Il est possible que la combinaison n'ait pas été bien fermée et qu'elle se soit remplie d'eau, il se peut que l'angle de flottaison dans l'eau ait été mauvais et que l'homme se soit noyé en avalant de l'eau, ou il peut être mort d'une crise cardiaque. Jusqu'à ce que les enquêteurs reçoivent la formation nécessaire pour poser les bonnes questions et que les pathologistes sachent quels essais et examens effectuer, on ne pourra que spéculer sur les causes du décès.

Comme on l'a démontré dans le paragraphe ci-dessus portant sur les activités du groupe I, une bonne formation est également essentielle pour les personnes faisant partie du groupe II. Toutes les personnes travaillant sur l'eau ou la survolant devraient connaître les dangers d'une immersion soudaine en eau froide, savoir où trouver les combinaisons d'immersion appropriées et comment et quand les porter. Dans un accident très récent qui s'est produit en janvier 2002, on a constaté qu'il n'y avait pas assez de combinaisons d'immersion à bord et que personne ne s'était soucié de les endosser. Les 14 membres d'équipage ont été très chanceux de s'en sortir vivants.

Des marins racontent leur sauvetage dramatique dans la tempête. (The Globe and Mail, 29 janvier 2002)

Des marins, qui ont quitté rapidement leur navire au milieu d'une tempête de neige qui sévissait dans l'Atlantique Nord, ont raconté que leur navire s'est rapidement rempli d'eau à cause du bris d'une pompe. Le capitaine du Sjard, un transporteur de vrac sec de propriété allemande, a raconté que, après le bris d'une pompe de soute dimanche, lui-même et les 13 autres membres d'équipage sont montés à bord du radeau de sauvetage, se sont bien attachés à celui-ci et ont lancé l'embarcation à l'eau. M. Scharbatke a dit qu'aucun des hommes n'a endossé les combinaisons de survie qui étaient à bord du navire. Il a raconté que même si les conditions météorologiques pendant l'opération de sauvetage étaient horribles, avec une houle très forte, des vents de plus de 90 kilomètres à l'heure, de la neige et une température de l'eau de 5 °C, personne n'a paniqué pendant l'abandon du navire et tous ont attendu dans le radeau de sauvetage l'arrivée des secours.

Si l'on considère que, avant 1945, il n'existait que des combinaisons d'immersion rudimentaires et que, avant 1983, il n'existait pratiquement aucune combinaison flottante en cas de naufrage disponible dans le commerce, la norme de l'OMI a donc été très utile pour en généraliser l'utilisation. Dans l'ensemble, les combinaisons sont une excellente protection contre l'hypothermie. Tout le crédit revient aux chercheurs, à l'industrie et aux bailleurs de fonds qui ont permis que cela en soit ainsi. Une étude effectuée par Brooks et ses collaborateurs (2001) (référence 31) sur 357 élèves qui suivaient un cours de survie de base dans la formation offerte par Survival Systems Training à Dartmouth, en Nouvelle-Écosse, a montré qu'il y avait un degré de satisfaction générale vis-à-vis des combinaisons et une confiance qu'elles pouvaient contribuer à la survie. Le problème de la compatibilité avec le gilet de sauvetage est toujours présent. Compte tenu du temps nécessaire pour modifier une norme, il est probablement préférable de mettre cette idée de côté. La prochaine étape

pour le groupe II est l'élaboration d'une nouvelle norme visant un système de combinaison intégrée, la mise au point d'un essai de redressement automatique efficace avec un mannequin et un rappel qu'un bon programme de formation est nécessaire. La grande nouvelle est que le groupe Shell, le Shark Group et l'University of Portsmouth, Royaume-Uni, ont réussi à produire la première génération de combinaisons intégrées et l'utilisent déjà.

Groupe III : Combinaisons d'immersion intégrées pour passagers

Voici une liste des occupations qui pourraient nécessiter le port d'une combinaison d'immersion intégrée pour passagers.

Group III

- Passagers de navires de croisière naviguant dans des eaux plus froides que 15 °C
- Passagers de petits bateaux de tourisme (observation de baleines, etc.)
- Passagers de traversiers en toutes saisons (p. ex. Nouvelle-Écosse à Terre-Neuve et Digby à Saint-Jean, etc.)
- Passagers de traversiers qui circulent au printemps et à l'automne (c.-à-d. les Grands Lacs et la côte ouest, etc.)

Le troisième groupe de personnes qui ont besoin d'être protégées et qui, jusqu'à maintenant, ont été complètement négligées sont les touristes à bord de navires de croisière, les passagers de traversiers faisant la navette sur de vastes étendues d'eau froide, p. ex. Digby, Nouvelle-Écosse, à Saint-Jean, Nouveau-Brunswick; Sydney, Nouvelle-Écosse à Terre-Neuve; Yarmouth, Nouvelle-Écosse à Bar Harbour ou Portland, Maine; les passagers des traversiers des Grands Lacs, les passagers des traversiers quittant la côte ouest au printemps, à l'automne et en hiver et toute la gamme de plus petits bateaux qui servent à l'observation de baleines, à des voyages de pêche, etc. soit dans les zones côtières ou extracôtières. Pour ce genre de personnes, la principale menace est la noyade produite par le choc dû au froid et l'épuisement à la nage. Il faut que la personne survive aux deux premiers stades de l'immersion avant de devenir hypothermique. Si les sauvetages sont lents à arriver, il est évident que l'hypothermie et l'effondrement post sauvetage deviendront une menace grave. On ne pourra jamais assez insister sur le fait que se maintenir hors de l'eau, même juste la moitié du corps, est la clé à la survie. Demeurer immergé est très, très dangereux. Pour l'avenir, l'objectif serait de doter les navires de systèmes d'évacuation entièrement secs, de sorte que les survivants ne se mouillent pas ou, le cas échéant, seulement pour une courte période de temps. Cependant, cet objectif est très difficile à atteindre techniquement, surtout lorsque l'embarcation gîte beaucoup. L'accident de l'Estonia est un bon exemple où, malgré le gîte du navire, un nombre considérable de personnes ont réussi à atteindre le pont supérieur. Un témoin a déclaré qu'au moins 100 personnes, dans la partie du navire où il se trouvait, ont réussi à atteindre le pont supérieur. En théorie, elles auraient toutes dû survivre, car bon nombre d'entre elles, comme nous l'avons vu tragiquement dans les statistiques de la Seconde Guerre mondiale, sont mortes pendant la phase de survie. Nous semblons avoir oublié cette leçon.

À peu près à ce moment-là, certaines personnes passaient des gilets de sauvetage de main à main et les gens essayaient de les endosser du mieux qu'ils pouvaient... Un homme était debout dans une attitude calme et rassurante pour essayer de calmer ceux qui étaient effrayés. Il a organisé une chaîne humaine pour distribuer les gilets de sauvetage qui se trouvaient dans un contenant ouvert. Il s'est assuré que tout le monde reçoive un gilet de sauvetage et a donné les directives nécessaires et a aidé les passagers à les enfiler.

Nombre de ces personnes sont mortes dans l'eau froide. Si toutes avaient reçu une combinaison d'immersion, il y aurait sûrement eu moins que 852 morts (référence 43).

Comment devrait-on protéger ces personnes? Il y a une solution simple à ce problème. Actuellement, on remet aux passagers un gros gilet insubmersible approuvé par le SOLAS. Quiconque essaie de se rendre d'une cabine au pont supérieur pour abandonner un navire qui gîte ou se remplit d'eau doit faire l'impossible; il doit grimper le long des échelles et des escaliers et passer par les sorties d'escaliers

avec ce gros gilet sur le dos ou le traîner derrière lui. L'idée qui semble prendre forme en Europe présentement est inspirée de la méthode utilisée pour protéger le personnel maritime pendant l'abandon d'un navire. Dans la marine, chaque marin possède une ceinture sur laquelle sont suspendus deux petits sacs. L'un contient un gilet de sauvetage et l'autre une combinaison d'immersion à habillage rapide et à utilisation unique. Sur le pont supérieur, juste avant l'abandon, le gilet de sauvetage est sorti du sac boutonné, déroulé, placé sur la tête et gonflé par la bouche, rien ne peut être plus simple. Lorsque le deuxième petit sac est ouvert, la combinaison est déroulée et endossée par-dessus le gilet de sauvetage et fermée au cou par la cordelelière. La personne est alors physiquement préparée à échapper à la noyade produite par le choc dû au froid et l'épuisement à la nage. Pour une période d'environ une heure dans l'eau, la combinaison fournit une protection contre l'hypothermie et, une fois la personne à bord du radeau de sauvetage, la protection est pratiquement illimitée.

Le concept pour des passagers à bord de traversiers ou de navires de croisière, etc. peut être assez semblable. Il est important de considérer le gilet de sauvetage et la combinaison d'immersion comme un système de combinaison d'immersion intégrée et il faudrait qu'il soit certifié comme tel conformément à une norme de rendement. En effet, si cela n'est pas fait de cette façon, une norme sera élaborée en fonction d'un système donné, ce qui laisse peu de place pour l'amélioration et l'innovation. Une combinaison d'immersion et un gilet de sauvetage conçus comme un seul système, emballés le plus petit possible sur une ceinture ou un gilet (laisser le fabricant proposer sa propre conception), devraient être placés dans chaque cabine pour chaque occupant. De plus, il devrait y avoir le double de systèmes placés sur le pont supérieur, au lieu des gilets de sauvetage classiques. Ce système ne devrait pas être mis à l'épreuve conformément à une norme qui s'appliquerait uniquement à un gilet de sauvetage ou à une combinaison d'immersion, mais plutôt à une norme de rendement qui lui est propre. Cette norme doit aussi être simple, l'ensemble combinaison et gilet devrait :

- protéger contre le choc dû au froid et l'épuisement à la nage;
- protéger contre l'hypothermie dans de l'eau à 5 °C pendant 2 heures (fondamentalement la norme ISO, catégorie C);
- protéger contre l'hypothermie dans un radeau de sauvetage pendant 24 heures;
- protéger les cavités oronasales et éviter la noyade;
- retourner automatiquement la victime en 5 secondes à partir d'une position ventrale dans une mer agitée;
- être facile à enfiler;
- permettre de grimper facilement dans un radeau de sauvetage dans l'océan;
- convenir à des hommes et à des femmes de toutes les tailles.

La raison pour laquelle il faudrait faire les essais en fonction d'une nouvelle norme de rendement est pour permettre de s'éloigner d'idées préconçues comme le fait qu'un gilet de sauvetage gonflable doit comporter deux compartiments. En fait, si un fabricant peut concevoir un élément gonflable à un seul compartiment à l'épreuve des perforations qui serait intégré au système de la combinaison d'immersion et qui incorporerait une ou deux couches de la combinaison elle-même, ce serait un pas en avant dans la conception. Le Canada a la chance d'être à l'avant-garde mondiale en ce qui concerne l'élaboration et la mise en vigueur d'une telle norme de rendement et l'industrie canadienne serait en mesure de mettre au point le nouveau système.

Les combinaisons d'immersion à habillage rapide et les gilets de sauvetage simples gonflables comme décrits ci-dessus sont maintenant offerts dans le commerce. Par conséquent, à court terme (2 à 3 ans), des combinaisons d'immersion simples à habillage rapide devraient être exigées sur tous les navires ayant à bord des personnes du groupe III. Dans le cas de très petits bateaux où l'espace est restreint, tous les passagers devraient porter un gilet de sauvetage gonflable, particulièrement si la température de l'eau est inférieure à 15 °C. Une fois que la norme visant un système de combinaison intégré sera élaborée et que l'équipement sera disponible dans le commerce (3 à 5 ans), le système devrait être exigé sur tous les navires ayant à bord des personnes du groupe II. Il est difficile de déterminer à l'avance la quantité d'isolation nécessaire parce que cela dépend de nombreux facteurs. Nous

souhaiterions que tous les navires aient à bord des combinaisons ayant une valeur clo en état d'immersion de 0,75, mais du point de vue pratique et économique, cela n'est probablement pas faisable. La plupart des gens meurent dans les quatre premières minutes d'une immersion et, par conséquent, pour faire le choix le plus économique, sauver le plus grand nombre de vies et inciter les exploitants à accepter, une simple combinaison sèche de 0,25 clo en état d'immersion, qui peut être pliée dans un petit paquet et qui a besoin du minimum d'entretien, serait la solution.

Réglementation actuelle

À l'heure actuelle, il y aurait au moins 11 documents normatifs adoptés ou en cours d'élaboration se rapportant aux combinaisons d'immersion et autres types de combinaisons de survie. Il pourrait y en avoir d'autres qui sont demeurées dans des dossiers confidentiels de différents comités de sécurité et de santé de l'industrie d'exploitation pétrolière en mer et de l'industrie maritime. Ces documents sont publiés en français ou en anglais ou dans les deux langues.

- Office des normes générales du Canada. Combinaisons flottantes en cas de naufrage. CAN / CGSB-65.16-99. (Référence 34)
- Office des normes générales du Canada. Combinaisons pour passagers d'hélicoptère. CAN / CGSB-65.17-99. (Référence 33)
- Office des normes générales du Canada. Combinaisons de travail, flottantes, de protection. CAN / CGSB-65.21-95.
- US Coast Guard Department of Transportation. Life Saving Equipment. Part 160 Chapter 1 of 46 CFR. (Sub-part 171 – Immersion Suits, Sub-part 174.-Thermal Protection Aids.) Consolidated Edition 2001.
- OMI SOLAS. Chapitre III. Engins et dispositifs de sauvetage.
- Code international sur les engins de sauvetage de l'OMI 1997.
- Civil Aviation Authority. Helicopter Crew Members Immersion Suits. Specification No. 19, Issue 1. 15 avril 1991.
- Air Standardization Coordination Committee. ASCC Standard 61/12 (Methodology for Evaluation of Anti-Exposure Clothing in Cold Water Immersion Using Human Subjects)
- Version finale de la norme ISO FDIS 15027-1 à 3 Combinaisons de protection thermique en cas d'immersion : Partie 3 : méthodes d'essai. 26/08/1999.
- Draft Issue 2 JTSO-XXX Helicopter Crew and Passenger Integrated Immersion Suits for Operations to or from Helidecks in a Hostile Sea Area.
- Personal Protection of Helicopter Passengers in the Event of Ditching. Shell Health, Safety and Environment Committee. Février 1996.

Il importe de souligner que les seules normes industrielles accessibles au public ont été produites par le groupe de pétrolières Shell.

De manière générale, il y a très peu de différences entre chaque norme. La prochaine étape, en ce qui nous concerne, est d'utiliser ce que nous avons appris avec ces normes et d'élaborer une nouvelle norme qui s'appliquerait à un système intégré de combinaison d'immersion. Cependant, il ne faudrait pas écrire la norme pour un système qui a déjà été mis au point, comme c'est le cas pour le projet de spécifications JTSO visant une combinaison d'immersion intégrée.

Les personnes du groupe I qui ont besoin d'une combinaison à port constant devraient pouvoir faire référence à une norme qui leur donne un choix en fonction des conditions ambiantes. Le projet de norme ISO est un bon début, car il offre quatre niveaux de protection. Cependant, il devrait être utilisé comme ligne directrice pour l'élaboration de la norme visant une combinaison intégrée.

Les personnes qui se trouvent dans le groupe II, sont bien protégées des quatre stades de l'immersion avec leur combinaison de 0,75 clo en état d'immersion et les normes actuellement en vigueur. En rétrospective, on comprend maintenant qu'il y a un problème en ce qui concerne la capacité de redressement automatique des gilets portés avec les combinaisons. Cependant, dans l'ensemble, les combinaisons sont bonnes et, jusqu'à maintenant, personne n'a démontré que quelqu'un soit mort à cause d'une incompatibilité entre une combinaison d'immersion et un gilet de sauvetage. Plus probablement, les victimes ont péri parce qu'il n'y avait à bord aucune combinaison flottante en cas de

naufrage ou que les combinaisons présentes n'ont pas été endossées. La norme actuelle devrait donc être conservée jusqu'à ce qu'une nouvelle norme intégrée soit élaborée.

Les personnes qui se trouvent dans le groupe III sont actuellement sans protection. Pour palier à l'urgence, à court terme (2 ans), les exploitants de navires qui circulent dans de l'eau à une température inférieure à 15 °C devraient fournir aux passagers une combinaison d'immersion de style marine à habillage rapide. Ce type de combinaison est disponible dans le commerce au Canada. À long terme (5 ans), une nouvelle norme portant sur une combinaison d'immersion intégrée devrait être élaborée pour eux. En ce qui concerne les exploitants qui lisent ce rapport et qui pensent que l'introduction d'une combinaison à habillage rapide est un gaspillage de temps et d'argent pour eux, ils se trompent. Cela représentera un énorme pas en avant dans la protection de leurs passagers et il ne devrait pas être difficile de modifier les combinaisons qu'ils ont déjà à bord conformément aux nouvelles prescriptions ou de les conserver telles quelles pour cinq autre années.

À cette fin, il faudrait que de futures études soient consacrées à l'élaboration de mannequins thermosensibles de conception simple et économique, et ayant la flottaison nécessaire. Des travaux confidentiels, présentement en cours, nous font penser qu'en moins de deux ans cela se réalisera. Il suffira alors de représenter des sujets les plus minces et les plus grands pour les essais thermiques. En d'autres mots, les essais sur des sujets humains ne seront menés dans l'eau froide que pour des améliorations radicales des dispositifs existants ou pour mettre à l'essai des concepts entièrement neufs. Toutes les autres procédures d'essai des combinaisons pourront être effectuées sur des mannequins. En ce qui concerne le mannequin de flottaison, une fois encore, tout dépendant des fonds alloués et de la volonté à mener à terme ces travaux, on pourrait y parvenir en cinq ans.

Résumé du chapitre 6

Ce chapitre a porté sur les besoins de protection, la réglementation en vigueur et les normes à venir.

- Avant de décider de la solution à adopter, il faut d'abord évaluer soigneusement tous les aspects de la menace. Trouver une solution pour un aspect seulement ne réglera probablement pas le problème.
- En tentant de retarder l'installation de l'hypothermie, on emprunte fréquemment une voie qui n'est pas seulement coûteuse, mais qui exige un degré tel de perfectionnement dans la conception de la combinaison qu'elle pourrait s'endommager pendant l'habillage rapide en cas d'urgence.
- Comme la majorité des décès suivant une immersion se produisent dans les deux premiers stades de l'immersion avant que l'hypothermie ne s'installe, des mesures préventives devraient être orientées vers l'annulation des effets paralysants à court terme du froid et de la protection contre la noyade.
- Il y a treize catégories professionnelles qui nécessitent le port d'une combinaison de bord (groupe I), d'une combinaison flottante en cas de naufrage (groupe II) ou d'une combinaison d'immersion pour passagers (groupe III).
- Certaines des catégories professionnelles du groupe I ont été surprotégées avec des combinaisons de 0,75 clo en état d'immersion. Il faudrait qu'on leur offre d'autres combinaisons dont l'isolation serait de 0,25 à 0,5 clo conformément au projet de norme ISO qui prescrit quatre niveaux d'isolation.
- Les professionnels du groupe II sont bien protégés avec une combinaison de 0,75 clo en état d'immersion, mais une nouvelle norme visant une combinaison intégrée à un gilet de sauvetage devrait être élaborée. Cela réglerait le problème de l'incapacité des gilets de sauvetage actuels à retourner des personnes qui portent des combinaisons à forte flottaison.
- Les passagers du groupe III qui naviguent dans des eaux plus froides que 15 °C ne sont pas protégés. À court terme, les exploitants de ce genre d'embarcations devraient leur fournir un gilet de sauvetage gonflable de style marine et une combinaison d'immersion rapide à endosser. À long terme, une nouvelle norme de combinaison d'immersion intégrée pour passagers devrait être élaborée.
- Les facteurs clés de l'élaboration d'une combinaison d'immersion intégrée sont présentés.
- Une liste des normes actuelles des combinaisons d'immersion est présentée.

RÉFÉRENCES

1. Aeronautics Magazine. Septembre 1912. London.

2. Air Accidents Investigation Branch. Report on the Accident to AS 3321 Super Puma G-TIGH near the Cormorant A Platform on March 14, 1992. Report No. 2/93. HMSO London.

3. Air Sea Rescue Bulletin. No. 4, p.13. Air Sea Rescue Agency. Washington, D.C. October 1944.

4. Alexander, L. The Treatment of Shock from Prolonged Exposure to Cold, Especially in Water. Combined Intelligence Objectives Subcommittee. Item No. 24, File No. 26-37.

5. Allan, J.R. Survival After Helicopter Ditching; A Technical Guide for Policy Makers. Int. J. Aviat. Safety. 1:291-296. 1983.

6. Allan, J.R. Water Ingress Tests for Immersion Suits. RAF IAM. Report No. 504. June 1984.

7. Allan, J.R. The Effects of Leakage on the Insulation Provided by Immersion Protective Clothing. RAF IAM Report No. 511. September 1984.

8. Allan, J.R., Higgenbottom, C. and Redman, P.J. The Effect of Leakage on the Insulation Provided by Immersion-Protection Clothing. Aviat. Space Environ. Med. 1985:56:1107-1109.

9. Allan, J.R., Elliott, D.H., and Hayes, P.A. The Thermal Performance of Partial Coverage Wet Suits. RAF IAM Report to the Occupational Health Department of Shell, UK. Undated.

10. Allen, C.L. Evaluation of Ditching Suits for use in the RCAF. Report No. 64 – RD – 2. RCAF IAM Toronto. March 1964.

11. Armstrong, I.J., Bennett-Smith, S.C. and Coleshaw, S.R.K. Performance of Immersion Suit and Lifejacket Combinations at Sea. Health and Safety Executive Report. OTH 94 428.

12. Aury, G. Operation Survie. Editions France Empire, Paris 1955.

13. Avery, A., and Light, I. Immersion Suits: Realistic and Reproducible Leak Testing. Annals. Physiol. Anthrop. Vol. 5 No. 3, 1986.

14. Baker, K. Comparative Trials of the In-Service Mark 8 and a Prototype Mark 9 Submarine Escape Immersion Suit. INM Report 13 / 87.

15. Baker, K. A Comparative Study Between the In-Service Mark 8 and a Prototype Mk 9 Submarine Escape Immersion Suit. INM Report 14 / 88.

16. Barcroft, H. and Edholm, O.G. Temperature and Blood Flow in the Human Forearm. J Physiol, 104, 4, 366-376. 1946.

17. Barss, P. What we Have Learned About Drownings and Other Water Related Deaths in Canada 1991-2000. The Canadian Red Cross. Ottawa. World Congress on Drowning. Report No. 255. June 2002. ISBN 90-6788-280-01.

18. Baskerville, F.A. Present Status of Protection Against a Cold Environment for Aircrew Survivors Over Water. Commonwealth Defence Conference. UK5. Australia 1959.

19. Beckman, E.L., Reeves, E. and Goldman, R.F. Current Concepts and Practices Applicable to the Control of Body Heat Loss in Aircrew Subjected to Water Immersion. Aerospace Medicine. 37: 348 – 357. April 1966.

20. Beesley, L. The Loss of the Titanic. London, Phillip Allen, 1912.

21. Bell, P.Y., Padbury, E.H. and Hayes, P.A. Optimal Siting of Heat Flow Transducers for the Assessment of Body Heat Loss when Immersed in Water. Undersea Biomed. Res(4): 465-483.

22. Bennett, G.H. and Bennett, G.R. Survivors: British Merchant Seamen in the Second World War. Hambledon Press, 1999. ISBN1 85285 1821.

23. Berglund, L.G. Thermal Comfort: A Review of Recent Research. Annals Physiol. Anthrop. Vol. 5, No. 3, 1966.

24. Best, C.H. Naval Protective Clothing and Personal Equipage Trials. Undated, Canadian War Museum. VC 307C2N3nd, V. 2.

25. Bogart, J.E., Breckinridge, J.R., and Goldman, R.F. Thermal Evaluation of US Navy Anti-Immersion "Dry" Suits. USARIEM Report 1966.

26. Bricket-Smith, K. Ethnography of the Egedesminde District. Copenhagen 1924.

27. Brooks, C.J., and Provencher, J.D.M. Acceptable Inherent Buoyancy for a Ship Abandonment / Helicopter Immersion Suit. DCIEM Report No. 84-C-28. June 1984.

28. Brooks, C.J. Ship / Rig Personnel Abandonment and Helicopter Crew / Passenger Immersion Suits: The Requirement in the North Atlantic. Aviat. Space Environ. Med. 1986;57: 276 – 282.

29. Brooks, C.J. Lifejackets Through the Ages. Hemlock Press, 1995. ISBN 0 96999 13 0 4.

30. Brooks, C.J. and Ducharme, M.B. Measurement at Sea of the Effects of Wave Motion on the Insulation of Dry Immersion Suits. Aerospace Med. Assoc. Mtg. Chicago. May 1997.

31. Brooks, C.J., McCabe, J. and Lamont, J. What is the Survival Suit Designed to Do, and Will it Work for Me in the Event of a Ditching or Ship Abandonment? NATO RTO Mtg. Leipzig, October 2001. ISBN 92-837-1082-7.

32. Burton, A.C. and Edholm, O. Man in a Cold Environment. Edward Arnold, London, 1955.

33. Office des normes générales du Canada. Combinaisons pour passagers d'hélicoptère. CAN / CGSB-65.17-99. 1999.

34. Office des normes générales du Canada. Combinaisons flottantes en cas de naufrage. CAN / CGSB-65.16-99. 1999.

35. Cheung, S.S., d'Eon, N.J. and Brooks, C.J. Breath Holding Ability of Offshore Workers Inadequate to Ensure Escape form a Ditched Helicopter. Aviat Space Envron. Med. 2001; 72: 912-918.

36. Clarke, C.J and Stelmach, G.E. Muscular Fatigue and Recovery Curve Parameters at Various Temperatures. Res. Q. 1966:37: 468-479.

37. Clarke, R.S.J., Hellon, R.F. and Lind, A.R. The Duration of Sustained Contractions of the Human Forearm at Different Muscle Temperatures. J. Physiol. Lond. 1958: 143:454-473.

38. Croall, J. Fourteen Minutes: The Last Voyage of the Empress of Ireland (1978). Michael Joseph, ISBN 0718117360.

39. Crockford, G.W., Protective Clothing for Fishermen: Assessment of Design. Proc. Roy. Soc. Med. 63, 10, 47, 1970.

40. Crockford, G.W. Trawler Fishermen's Protective Clothing in Human Factors in Work, Design and Production. Taylor & Francis. Halsted Press 1977.

41. Currie, J. The Effects of Water Cold and Warm as a Remedy for Fever. Appendix II on the Treatment of Shipwrecked Mariners. Cadell and Davis, London, 1798.

42. Ducharme, M.B., and Brooks, C.J. The Effects of Wave Conditions on Dry Immersion Suit Insulation: A Comparison Between Humans and Manikin. DCIEM Report 96-R-46. June 1996.

43. Edita Ltd. On the Capsizing on the 28th September, 1994 in the Baltic Sea of the Ro-Ro Passenger Vessel Estonia. Edita Ltd. Finland. ISBN 951 53 1661 1.

44. English Mechanic, Volume IX, No 228. August 6, 1869.

45. Falk, F Versuche uber beziebung der hantnerven zur athmung. Archiv. Fur Anatomie und Physiologie, 8, 455, 1884.

46. Froese, G. and Burton, A.C. (1957) Heat Losses from the Human Head. J. Appl. Physiol. 10 235-41.

47. Gagge, A.P., Burton, A.C. and Bazett, H.C. A Practical System of Units for the Description of Heat Exchange of Man with his Environment. Science Vol 94 no. 2445, p 428-403, November 7, 1941.

48. Gaydos, H.F. Effects of Localized Hand Cooling Versus Total Body Cooling in Manual Performance. J. Appl. Physiol. 12:377 – 80, 1958.

49. Giesbreicht, G.G., Pu Wu, M., White, M.D., Johnson, C.F. and Bristow, G.K. Isolated Effect of Peripheral Arm and Central Blood Cooling on Arm Performance. Aviat. Space Environ. Med. 66: 968 – 975.

50. Gilbert, M. The First World War. Holt & Co. New York: 1994. ISBN 080501540 X.

51. Gilbert, M., Busund, R., Skagseth, A., Nilsen, P.A. and Solbo, J.P. Resuscitation from Accidental Hypothermia of 13.7°C with Circulatory Arrest. Lancet 2000:355:375-376.

52. Glaser, E.M. and McCance, R.A. First Report on Arctic Trials. RNPRC Report No 50/591. 1950.

53. Golden, F. St.C. and Hervey, G.R. A Class Experiment on Immersion Hypothermia. Journal of Physiology: 227, 45. 1972.

54. Golden, F. St.C. Recognition and Treatment of Immersion Hypothermia. Proc. Of the Royal Society of Medicine. Vol. 66: 1058-1061. October 1973.

55. Golden, F.St.C. Shipwreck and Survival. J.R.N. Med. Serv. Nos 1 and 2. 1974.

56. Golden, F.St.C. and Hervey, G.R. The "After-Drop" and Death after Rescue from Immersion in Cold Water. In Hypothermia Ashore and Afloat. J.M. Adam 1981. ISBN 0 080 025750 X.

57. Golden, F.St.C. Survival at Sea: the Nature of the Medical Threat. In conference proceeding RINA Escape, Evacuation and Rescue Conference. London, 1996.

58. Goldman, R.F., Breckinridge, J.R., Reeves, E. and Beckman, E.L. "Wet" Versus "Dry" Approaches to Water Protective Clothing. Aerospace Med. 37:485 – 487, 1966.

59. Goldman, R.F. Air Force and Navy Anti-Immersion Protective Clothing. ME- E5-76 USAF1. November 1976.

60. Grose, J.E. Depression of Muscle Fatigue Curves by Heat and Cold. Res. Q. 1958:29:19-31.

61. Hall, J.F., Polte, J.W., Kelley, R.L. and Edwards, J. Skin and Extremity Cooling of Clothed Humans in Cold Water Immersion. J. Appl. Physiol. 1954: 188 –195.

62. Hall, J.F., and Polte, J.W. Effect of Water Contact and Compression on Clothing Insulation. J. Appl. Physiol. 1956. 8:539-45.

63. Hall, J.F., Kearney, A.P., Polte, J. and Quillette, S. Body Cooling in Wet and Dry Clothing. J. Appl. Physiol. 13: 121-128. 1958.

64. Hall, J.F., and Polte, J.W. Thermal Insulation of Air Force Clothing. WADD Report 60-657, September, 1960.

65. Hall, J.F. Prediction of Tolerance in Cold Water and Life Raft Exposure. Aerospace Medicine, 43: 281 – 286, 1972.

66. Hampton, I.F.G. A Laboratory Evaluation of the Protection Agent Heat Loss Offered by Survival Suits for Helicopter Passengers. In Adam, J.M. Ashore & Afloat. ISBN 0 08 025750 X. 1981.

67. Hayes et al, For the Development of a Mathematical Model for the Specification of Immersion Clothing Insulating RAF IAM Report No. R 653, 1987.

68. Hayes, P.A. The Physiological Basis for the Development of Immersion Protective Clothing. Annals. Physiol. Anthrop. Vol 5, No 3, 1986.

69. Hayward, J.S., Eckerson, J.D. and Collis, M.L. Effect of Behavioural Variables on Cooling Rate of Man in Cold Water. J. Appl. Physio 38, 1073, 1975.

70. Hayward, J.S., Eckerson, J.D. and Collis, M.L.

Thermal Balance and Survival Times Predictions of Man in Cold Water. Can J. Physiol. Pharmacol 53-21-32:1975.

71. Hayward, J.S., Eckerson, J.D. and Collis, M.L., Thermoregulatory Heat Production in Man: Prediction Equation Based on Skin and Core Temperature. J. Appl. Physiol. 42: 377-384. 1977.

72. Hayward, J.S., Lisson, P.A., Collis, N.L., and Eckerson, J.D. Survival Suits for Accidental Immersion in Cold Water: Design-Concept and their Thermal Protective Performance. Dept. of Biology. Univ. of Victoria, B.C. 1978.

73. Hayward, J.S. and Eckerson, J.D., Physiological Responses and Survival Time Prediction for Humans in Ice-Water. Aviat. Space. Environ. Med 1984: 55(3): 206-212.

74. Hayward, J.S., Hay, C., Matthews, B.R., Overwheel, C.H. and Radford, D.D. Temperature Effect on Human Dive Response in Relation to Cold Water Near-Drowning. J. Appl. Physiol. 1984: 5G(1) 202 – 206.

75. Hermann, R. Do we Survive with Survival Suits? J. Roy. Nav. Med. Serv. 1988; 74:147-152.

76. Hermann, R. Scientific Testing of Immersion Suits and Lifejackets. Travel Medicine International. 109-117, 1990.

77. Herodotus (circa 450 BC) History. Book 6, Chapter 44.

78. Heuss, R., Hein, A.M. and Havenith, G. Physiological Criteria for Functioning of Hands in the Cold. Appl. Ergonomics. 26 (1) February 1995.

79. Hiscock, R.C. Development of Exposure Suits. International Hypothermia Conference and Workshop. University of Rhode Island. January 1980.

80. The Hudson Transport Report of Formal Investigation No. 109. ISBN 0-660-51972-0.

81. Hunter, J., Kerr, E.H. and Whillans, M.G. The Relation Between Joint Stiffness upon Exposure to Cold and the Characteristics of Synovial Fluid. Can. J. Med. Sc. 1952; 30: 367-377, 1952.

82. Hynes, A.G., Frim, J., Jacobs, I. and Romet, T.T. Evaluation of a Series of Quick-Don Immersion Garments for a Selection of a Replacement to the Present Canadian Forces Quick-Don Immersion Coverall. DCIEM Report No 85-R-34.

83. Ilmarinen, R., Janson, J., Laitinen, L.A. and Reiko, J. Testing of Immersion Suits 1981. Finnish Board of Navigation.

84. Ilmarinen, R., Pasche, A. and Gordon, S. Thermal Properties of Wet Versus Dry Emergency Suits. NUTEC Bergen Report No 43 – 84, 1984.

85. Organisation maritime Internationale. 1983 Modifications de la convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer. Chapiter III.

86. Johanson, D.C., Reeps, S.M. and Santa Maria, L.J. Physiological Responses of Human Subjects Wearing Thermal Protective Clothing Assemblies in Varying Environments. SAFE Symposium, December 1979.

87. Kaufman, J.W. and Reeps, S. 'Thinsulate' Anti-Exposure Liner Evaluation – Interim Report. US Navy Code 60 B1 September 1984.

88. Kaufmann, J.W. and Dejinika, K.Y. Physiological Responses of Subjects Wearing Vapour Permeable Anti-Exposure Garments During Immersion. Annals. Physio. Anthrop. Vol. 5, No. 3, 1986.

89. Keatinge, W.R The Effect of Work and Clothing on the Maintenance of the Body Temperature in Water. Quarterly Journal of Experimental Physiology. 46, 69. 1961.

90. Keatinge, W.R. and Nadel, J.A. Immediate Respiratory Response to Sudden Cooling of the Skin. J. Appl. Physiol. 20:65-69, 1965.

91. Keatinge, W.R. Death after Shipwreck. Brit , Med. J. 2:1537 – 1541, 1965.

92. Keatinge, W.R. Survival in Cold Water. Blackwell Press. 1969. ISBN 632 05280 5.

93. Langhaug, P., Ellingsen, D.O. and Brinchmann, P.A. Users Experience with Survival Suits. Report No. 39-22/0.01.01.82. NSFI Marine Safety Department. Norway 1982.

94. Larsson, A., Gennser, M. and Ornhagen, H. Test of a Modified Mark 8 Submarine Escape and Immersion Suit. FOA Swedish National Defence Research Institute. C 50090 – 5.1. November 1991.

95. LeBlanc, J.E. Impairment of Manual Dexterity in the Cold. J. Appl. Physiol. 9: 62 – 64, 1956.

96. Lee, E.C.B. History of RN Life-Jackets. Admiralty Papers. Naval Life Saving Committee. Ref: NLSC 20/60, UK. 1960.

97. Lee, E.C.B. Survival at Sea. CIRM Rome. 1965.

98. Lee, E.C.B., and Lee, K. Safety and Survival at Sea. Greenhill Books 1989. ISBN 1 85367 034 0.

99. The Lifeboat. Journal of the Royal National Lifeboat Institution, October 1856. p. 199-204.

100. The Lifeboat. Journal of the Royal National Lifeboat Institution. p. 362-369. London, November 1929.

101. Light, I.M., McKerrow, W. and Norman, J.N. Immersion Coveralls for Use by Helicopter Passengers. J. Soc. Occup. Med (1980) 30, 141-148.

102. Lind, J. An Essay on the Most Effective Means of Preserving the Health of Seamen in the Royal Navy. London: D. Wilson, Plato's Head, 1762.

103. Little, W.L. and Smith, D.G. Anti-Exposure Assemblies in the US Navy. Aviat Space Environ. Med. May 1987.

104. Lotens, W.A. and Havenith, G. Ventilation of Garments. Annals. Physiol. Anthrop. Vol. 5, No.3, 1986.

105. Marine Accident Investigations Branch. Collision Passenger Launch Marchioness and MV Bowbelle 20 Aug 1989. ISBN 0-11-551025-7. London HMSO, August, 1991.

106. Markle, R.L. A Study of LifeSaving Systems for Small Passenger Vessels. USCG Study March 29, 1991.

107. Macintosh, R.R. and Pask, E.A. The Testing of Lifejackets. British Journal of Industrial Medicine. 14: 168-176. 1957.

108. McCance, R.A., Ungley, C.C., Crossfill, J.W.L. and Widdowson, E.M. The Hazards to Men in Ships Lost at Sea 1940 – 1944. Medical Research Council Special Report Series No. 291. London 1956.

109. Matthes, M. German Air Sea Rescue Services, World War II. 2p.1148. USAF Surgeon General's Office, 1946

110. Medical Research Council. A Guide to the Preservation of Life at Sea after Ship Wreck. Committee on the Care of Shipwreck Personnel: War Memorandum No. 8, 1943. HMSO London.

111. Mekjavik, I.B. and Gaul, C.A. Functional Characteristics of Helicopter Pilot Suits During Cold Water Immersion and Hot Air Exposure. Annals. Physiol. Anthrop. Vol. 5, No. 3, 1986.

112. Merchant Shipping Advisory Committee. Report on Life Saving Appliances, Training and Organizations. December 1922. HMSO London 1923.

113. Mercer, J.O. (1969) Personal communication quoted from Golden, F.St.C. Shipwreck and Survival. J. RN. Med Serv. Nos 1 and 2. Summer 1974.

114. Millward, J.K. Cold Water Immersion Protection for Personnel Engaged in Fishery Protection Duties. INM Report No. 36 / 77.

115. Molnar, G.W. Survival of Hypothermia by Men Immersed in the Ocean. J. Amer. Med. Assoc. 27 July 1946. 1046-1050.

116. The Morner Life-Saving Suit. The Shipbuilding and Marine Engine-Builder. p. 95, March 1940.

117. NATO RSG7. Handbook of Clothing: Biomedical Effects of Military Clothing and Equipment Systems. 1988.

118. National Transportation Board Marine Accident Investigation Report. The Ocean Ranger. NSTB-Mar-83-2.

119. Newburgh, L.H. Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing. Hafner Publishing Co. New York and London, 1968.

120. Newhouse, M.L. Dogger Bank Itch: Survey of Trawlermen.1966 Brit. Med. J. I 1142.

121. Newhouse, M.L. Protective Clothing for Fishermen. Proc. Roy. Soc. Med. 63, 10, 56, 1970.

122. Niazi, S.A. and Lewis, F.J. Annals of Surgery. 146, 264. 1958.

123. Nicholl, G.W.R. Survival at Sea. The Development, Operation and Design of Inflatable Marine Lifesaving Equipment. Adlard Coles Ltd. London. 1960.

124. NSW Water Safety Framework: 2001-2003. NSW Water Safety Task Force. Concord West DC NSW 2138, Australia.

125. Nunnely, S.A and Wissler, E.H. Prediction of Immersion Hypothermia in Men Wearing Anti-Exposure Suits and/or Using Liferafts. AGARD Conference Proceedings 286. A1-1-A1-8. 1980.

126. Oakley, E.H.N. and Pethybridge, R.J. The Prediction of Survival during Cold Immersion: Results from the UK National Immersion Incident Survey. INM report No. 97011. February 1997.

127. Pasche, A and Gordon, S. Test of Survival Suits for Offshore Helicopter Transportation. NUTEC Report No. 43-82. 1982.

128. Pasche, A., and Ilmarinen, R. The Effect of Water Ingress on Buoyancy and Thermal Quality of Survival Suits. Safe Symposium 1984.

129. Pasche, A, Ilmarinen, R. Temperature Parameters for Manned Survival Suit Evaluation. Annals. Physiol. Anthrop. Vol 5, No. 3, 1986.

130. Peden, M.M. The Epidemiology of Drowning Worldwide. World Congress on Drowning. Amsterdam. June 2002. Report No. 255. ISBN 90-6788-280-01.

131. Pugh, L.G.C, Edholm, O.G., and Pershall, C. Submarine Escape Immersion Suit. Medical Research Council. RNPRC. Report No RNP 52/704, 1952.

132. Riegel, P.S., Caudy, D.W., Tierney, J.M. and Trainer, T.M. Final Report on Evaluation of Survival Suits for the use of Crews of the Great Lakes Carriers. DOT US Coast Guard Report No. CG-D-14-73. October 1973.

133. Riley, W.M. Implementation of SOLAS 74/83 Immersion Suit Standards. Annals. Physiol. Anthrop. Vol 5, No.3, 1986.

134. Romet, T.T., Brooks, C.J., Fairburn, S.M., and Potter, P. Immersed Clo Insulation in Marine Work Suits Using Human and Thermal Data. Aviat Space Environ. Med. 1991; 62: 739-46.

135. Schilling, R.S.F. Trawler Fishing: An Extreme Occupation. Proc. Roy. Soc. Med 59, 405, 1966.

136. Smith, F. E. Survival at Sea. Royal Navy Personnel Research Committee. SS 1/76 MRC. London, May, 1976.

137. Sowood, P.J., Brooks, C.J., and Potter, P. How Should Immersed Suit Insulation be Measured? In Proc. 6th Int. Conf. Env. Ergonomics p. 150-151 Sept. 1994.

138. Spealman, C.R. The Relationship Between Foot Temperature and the Amount of Insulation Surrounding the Foot Immersed in Cold Water. Res. Proj. X-297, Report No. 2, 11 March 1944, NMR, NNMC Bethseda, Maryland.

139. Spealman, C.R. Body Cooling of Rats, Rabbits, and Dogs Following Immersion in Water with a Few Observations on Man. Amer. J. Physio. 146:262. 1946.

140. Steinmann, A.M., Nemiroff, M.J., Hayward, J.S., and Kubilis, P.S. A Comparison of the Protection Against Immersion Hypothermia Provided by Coast Guard Anti-Exposure Clothing in Calm Versus Rough Water. Annals Physiol. Anthrop. Vol.5, No. 3. 1986.

141. Steinmann, A.M., Hayward, M.J., Nemiroff, J.S., and Kubilis, P.S. Immersion Hypothermia: Comparative Protection of Anti-Exposure Garments in Calm Versus Rough Seas. Aviat. Space Environ. Med. 58: 550-8. 1987.

142. Sterba, J.A. and Lundgren, C.A. Influence of Water Temperature on Breath Holding Time in Submerged Man. Undersea Biomed. Res. 5. Suppl. 29-30, 1979.

143. Sturgeon, W.R. Development of a Canadian Forces Quick Don Anti-Exposure Immersion Suit. DCIEM Report No. 89–TR–09, January 1989.

144. Sullivan, P.J., Mekjavic, I.B., and Kakitsuba, N. Determination of Ventilation Indices of Helicopter Pilot Suits. Annals. Physiol. Anthrop. Vol 5, No.3, 1986.

145. Supreme Court of Newfoundland. In the Matter of a Formal Investigation into the Sinking of the MV William Carson Off Newfoundland. 3 June 1977.

146. Szpilman, D. and Cruz Filho, F.E.S. Epidemiological Profile of Drowning in Brazil in 20 Years. World Congress on Drowning. Report No. 255. June 2002. ISBN 90-6788-280-01.

147. The Talbot Report of Naval Life Saving Committee. London. 2 April 1946.

148. Teichner, W.H. Manual Dexterity in the Cold. J. Appl. Physiol. 1:333- 338. 1957.

149. Tikuisis, P. Predicting Survival Time for Exposure. Int. J. Biometerol 39: 94-102. 1995.

150. Tikuisis, P. Prediction of Survival Time at Sea Based on Observed Body Cooling Rates. Aviat. Space Environ. Med. 68: 441-448. 1997.

151. Tipton, M.J., and Vincent, M.J. The Effects of Cold Immersion and Hand Protection on Grip Strength. Aviat Space Environ. Med. 1988: 59:738-41.

152. Tipton, M.J., and Vincent, M.J. Protection Provided Against the Initial Responses to Cold Immersion by Partial Coverage Wet Suit. Aviat Space Environ. Med. 1989: 60: 769-73.

153. Tipton, M.J. The Initial Responses to Cold-Water Immersion in Man. Clinical Sciences (1989) 77, 581-588.

154. Tipton, M.J., Stubbs, D.A, Elliott, D.H. Human Initial Responses to Immersion in Cold Water at Three Temperatures and after Hyperventilation. J. Appl. Physiol. 70(1):317-322, 1991.

155. Tipton, M.J. The Relationship Between Maximum Breath Hold Time in Air and the Ventilating Responses to Immersion in Cold Water. Eur. J. Appl. Physiol. 1992: 64: 426 – 429.

156. Tipton, M.J. The Concept of an Integrated Survival System for Protection Against the Responses Associated with Immersion in Cold Water. J. Roy. Nav. Med. Serv. 1993: 79:1-14.

157. Tipton, M.J., Kelleher, P.C., Golden, F.St.C., Supraventricular Arrythmias Following Breath Hold Submersion in Cold water. Undersea and Hyperbaric Medicine. Vol. 21. No.3, 1994.

158. Tipton, M.J. Immersion Fatalities: Hazardous Responses and Dangerous Discrepancies. J. Roy. Nav. Med. Serv. 1995: 81: 101-107.

159. Tipton, M.J. and Balmi, P.J. The Effect of Water Leakage on the Protection Provided by Immersion Protective Clothing Worn by Man. Eur J Appl Physiol 1996: 72: 394-400.

160. Tipton, M.J., Eglin, C. Gennser, M., Golden, F.St.C. Immersion Deaths and Deterioration in Swimming Performance in Cold Water. The Lancet. Vol. 354. Aug 21, 1999.

161. Bureau de la sécurité des transports du Canada. Naufrage du remorqueur canadien « Patricia McAllister ». Golfe Saint-Laurent. 22 avril 1991. Rapport n° N91L3010.

162. Bureau de la sécurité des transports du Canada, Naufrage et pertes de vie, navire à passagers «True North II » devant l'île Flowerpot, baie Georgienne, 16 juin 2000.

163. US Coast Guard Marine Casualty Report. Collision SS Frosta and MV George Prince 20 October 1976 No. USCG 16732/73429.

164. US Coast Guard Marine Casualty Report. Collision USCG Cuyahoga and MV Santa Cruz II 20 October 1978. No. USCG 16732/92368.

165. US Coast Guard Marine Casualty Report. Sinking of MV Miss Majestic 1May 1999. Washington, DC No. USCG 16732/MC99005211.

166. USN Atlantic Fleet Operational Development Force. Evaluation of Immersion Suits. Project OP/S211/S33-6. March 1955.

167. US Navy. Evaluation of Post-War Developed Life-Saving and Accessory Equipment Under Service Conditions. Project OP/S211/533-6. US Atlantic Fleet, Norfolk, Va. 29 December 1952.

168. Vanggaard, L. Immersion Suits in Handbook of Clothing. NATO RSG7. 1988.

169. Verweij, G.C.G. and Bierens, J.J.L.M. Deaths from Drowning in the Netherlands 1980 – 2000. World Congress on Drowning. Report No. 255. June 2002. ISBN 90-6788-280-01.

170. Wallingford, R., Ducharme, M.B. and Pommier, E. Factors Limiting Cold-Water Swimming Distance While Wearing Personal Flotation Devices. Envir. J. Appl. Physiol. 82:24-29. 2000.

171. Werenkskiold, P. Survival Suits: Report of Tests on Survival Suits Performed by the Ship Research Institute of Norway. January 1976. PR. 326.72307.02.

172. Willett, P. The Introduction of the Inner Immersion Coverall for British Military Aircrew. Aircraft Equipment Branch. MOD P.E. 1988.

173. White, G.R., Cold Water Survival Suits for Aircrew. AR-001-119. Melbourne. March 1978.

Accident du Super Puma 74
Accidents de pêche 65
Air Sea Rescue Organization 28
Alexander Kielland, l' 34
Alexander, L. 27
Allan, J.R. 35, 39, 45
Allen, C.L. 36
Armstrong, I.J. 68
Army Personnel Research Establishment 31
Arythmie cardiaque 20, 21
ASCC 79
Association internationale d'ergonomie 34
Asur Nasir Pal 61
Aury, G. 8
Avery, A. 35

B.F. Goodrich Co 28
Baie Georgienne 5, 7, 9
Baker, K. 36
Balmi, P.J. 25, 44
Banting, F.C. 27
Barss, P. 65
Base aéronavale de Pensacola 8
Base de données sur la santé mondiale 65
Baskerville, F.A. 31
Bataille de l'Atlantique 9
Bataille de la Grande-Bretagne 27, 62
Bataille de Trafalgar 61
Bay Chesapeake 9
Bazett, H.C. 27
Beckman, E.L. 39
Beesley, Lawrence 8
Bergen Fjord 37
Best, C.H. capt 27
Bismarck, le 27, 62
Board of Trade 8
Boddy, M. 8
Bogart, J.E. 30
Boyton, capt 8
Brickett-Smith, K. 7
British Merchant Advisory Committee 8, 25
Brooks, C.J. 42, 49, 76
BSI 3595 64
Bureau de la sécurité des transports du Canada ...9
Burton, A.C. 25, 27, 31, 41

Cap Gris-Nez 8
Capacité de redressement automatique 43
Capacité de retenir son souffle 90
Capuchon 51, 53
Ceintures de sauvetage de la Royal Navy 9
Ceintures de sauvetage 6
Cessna 172, écrasement 74
Chantier maritime de la marine à Brooklyn 8
Charlie, le 75
Choc dû au froid 2, 5, 10, 11, 12,17, 18,19, 20, 22 25, 31, 50, 69, 70, 73, 74, 75, 77, 78
  décès attribuable au symptôme du 10
Chute secondaire de température 17
Civil Aviation Authority 65, 79
Combinaison à habillage rapide 50, 52, 59, 78
Combinaison de protection 26, 28
Combinaison de sauvetage en cas d'amerrissage forcé 31
Combinaison de survie
  accident de l'Ocean Ranger 19
  caoutchouc 8
  exigences des temps modernes 7
Combinaison étanche 2
Combinaison flottante de protection 25
Combinaisons des pilotes des Hurricane 27
Combinaisons d'immersion
  besoin de mener des essais en tant que système intégré 74, 77
  besoin de porter une combinaison sèche 47
  combinaisons humides pour équipages d'hélicoptères 51
  comparaison entre les combinaisons sèches et humides 32, 41
  conception 28, 29, 31, 33, 35, 37, 42, 43, 45, 47, 49, 53, 61
  dédoublement du matériel et de l'équipement 37
  effet de l'infiltration d'eau 30, 34, 37, 39, 47
  effet de la compression hydrostatique .....30, 34, ...51
  effet du mouvement des vagues 35, 42
  essais menés en Colombie-Britannique 33
  essais pratiques menés en 1945-1970 28
  essais pratiques menés en 1970-1980 31
  essais pratiques menés en 1980-2002 34
  essais réalistes 68
  exigences 29
  fermeture 52, 55
  flottabilité inhérente 43
  groupe I 72, 74,

.....79
groupe II 75, 79
groupe III 77
inconfort des pilotes des avions de surveillance 41
interface avec le gilet de sauvetage 49
mauvais fonctionnement 35
médiocrité du contrôle de la qualité 2, 28, 34, 39
méthode d'habillage 52, 53, 54, 59
mise au point par Frankenstein 27
mise au point par la RCAF 27
mise au point par la Royal Air Force 29
nomenclature 3, 8, 66, 70
pas endossées par l'équipage du Sjard 76
pas utilisées pendant la Seconde Guerre mondiale 26
pour l'abandon en masse d'un navire 50
pour pilotes d'hélicoptères 32
problèmes liés au redressement automatique 67
protocoles expérimentaux 28, 32
qui doit-on protéger 72
réglementation actuelle 79
rythmes de refroidissement 14, 18
taux de refroidissement 33
tissu utilisé 32, 33, 34, 35, 56
transport de 2
Comet, le 16
Compression hydrostatique 30, 34, 37, 45, 46, 51
Conditions de mer Beaufort 39, 45
Conduction 13
Conductivité thermique 13
Convection 13
CORD 37
Costume de bain gonflable 28
Couche limite 13
Cougar, le 19
Courbes prévisionnelles de survie
à une température de 13,7 °C 14
Hall 14, 30
Hayward, prof. 14
Lee et Lee 15
Markle 16, 18
Molnar 14
mort plus rapide que prévu 18
Nunnely 15
Oakley et Pethybridge 15
Société canadienne de la Croix-Rouge 14
Tikuisis 14
Wissler 14
Cowes 8
Croall, J. 25
Crockford, G. 31, 32
Currie, J. 7
Cuyahoga USCG 21

Dachau, expériences de 27
Danish National Museum 7
Dashun, traversier de 26
Décès
marin de la marine marchande 8, 26
marins britanniques 8
officiers de marine allemands 8
officiers de marine et marins 8
passagers 8
Degré de flottaison (passagers d'hélicoptère) 42
Dejinika, K.Y. 35
Déperdition de chaleur par la tête 25
Détroit de Bass 32
Deutsches Textilforschunginstitut 27
Dextérité manuelle 21
Difficulté de garder les mains au chaud 34
Dover 8
Dreadnaught Safety Suit 8
Ducharme, M. 42

Edholm, O. 31, 41
Effondrement post sauvetage 17, 22, 25
Embarcation de sauvetage de Rye Harbour 9, 68
Emergency Rescue Equipment Section 28
Empress of Ireland 8, 25
Épuisement à la nage 1, 3, 11, 15, 17, 18, 19, 22, 25, 31, 50, 67, 73, 77, 78
Équilibre thermique : notions de physique 12
Ernsting, J. 39
ESMEF 51
Essais d'équipement par la Royal Canadian Navy (1943) 27
Essais de résistance aux fuites 35, 45
Estonia, l' 10, 16, 77
Études physiologiques menées entre 1945 et 1970 28
Évaporation 13
Falk, F. 16

Fermetures à glissière 27, 28, 30, 32, 34, 35, 37, 50, 53, 54, 55, 59, 74
Finnish Board of Navigation 36
Flare, le 75
Flottaison
  angle 43
  politique relative à la survie 10
Flotteurs de type Carley 9
Flying Swan 73
Frankenstein 27
Froes, G. 28
Fry, W. 8

Gagge, A.P. 27, 37, 44
Gants 21, 27, 34, 39, 49, 55, 59
Gaul, C.A. 35
George Prince, MV 21
Giesbreicht, G. 18
Gilbert, M. 8
Gilets de sauvetage 61
  acceptation par les usagers 67
  avec des combinaisons de sauvetage 61
  capacité de redressement avec des combinaisons d'immersion 43, 47
  conception asymétrique 58
  coût des 69
  écran facial 69
  effet des eaux agités 64
  effet des vagues 64
  effet du saut 64
  essais réalistes 8
  expériences de Macintosh et Pask 69
  faciliter les évasions 7
  gilet de sauvetage ou VFI 66, 70
  mesure de l'isolation sur des sujets 44
  modèle no 14124 61
  nomenclature 66
  nouveau modèle de VFI no 5580 29
  port des 7
  port obligatoire de 67, 70
  posture dans l'eau 63
  prescription juridique 61
  redressement automatique 58, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 79
  réglementation des navires transportant des passagers 21, 22
  réglementation et normalisation 64
  réunion des spécialistes 66
  sangle d'entrejambe 69
  stabilité 63
Glaser, E.M. 31
Gold Bond Conveyor 75
Golden, F.St.C. 9, 10, 15, 16, 17, 34, 72
Goldman, R.F. 30, 32, 34,
42Gortex 35, 36, 49, 56, 58
Groupe I
  combinaisons à port constant 72, 74, 79
Groupe II
  combinaisons flottantes en cas de naufrage ...75, 79
Groupe III
  combinaisons pour passagers 77
Guerre de Corée 29, 37
Guerre des Malouines 50, 59

Habillage rapide 50
Hall, J.R. 14, 30, 32, 39, 41
Hampton, I.F.G. 32, 36
Havenith, G. 35
Hayward, J.S. 20, 33
Hélicoptères, passagers et pilotes d' 72
Hermann, R. 36, 68
Hérodotus 7
Hervey, G.R. 10, 17, 34
Hill, M. 9
Hiscock, R.C. 8, 27, 28

Hudson Transport, le 21
Humidité de la peau 41
Hynes, A.G. 36
Hypothermie 1, 2, 7, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 25, 28, 31, 33, 34, 35, 43, 47, 68, 70, 72, 74, 75, 76, 78, 80
  mauvais diagnostic 19

ILC Dover 33
Illmarinen, R. 35, 36
IMED 36, 37, 57
Institute of Occupational Health, Helsinki 35
Institute of Occupational Medecine, Hambourg ...36, 68
Isaacs, A. sgt 75
ISO 68, 70
  FDIS 15027-3 .....74, 79
Isolation des combinaisons

avec des bulles de savon 27
avec du CO2 57
isolation des cylindres 39
isolation des mains 37, 39
isolation des tissus 40, 56
perte par compression hydrostatique 30, 34
perte par infiltration d'eau 30, 34, 37, 39, 52
perte par les vagues 35, 41, 42

J.W. Wescott II, le 73
Joan La Rie III, le 16
Joints de cou 37, 39, 41, 46, 50, 51, 52, 53, 54, 59
Joints de poignets 37, 39, 55, 59

Kapok 8
Kaufmann, J.W. 35
Keatinge, W.R. 10, 31
Kella-Lee 79

Lakonia, le 19
Larsson, A. 36
Lee, E.C.B. 8, 29, 31, 62, 67
Lésions dues au froid sans congélation des tissus ..35, 46
Light, I.M. 35, 36
Lind, J. 7
Lotens, W.A. 35, 41

MacDonald, M. 8
Macintosh, R.R. 26, 31, 61, 62, 68
Malmi, M.S. 35
Manche, la 8
Mannequin thermosensible 2, 14, 30, 35, 39, 42, 44, 46, 80
avantages et désavantages 44, 47
Mannequins
avantages et désavantages 44, 47
position de flottaison 68
thermosensibles 2, 30, 35, 39, 42, 44, 46, 80
Marchioness, le 21
Mardonius 7
Marine Electric 75
Marine et garde côtière américaines 8
Marine néo-zélandaise 61
Markle, R.L. 16, 17, 18, 19
Matthes, M. 17, 27
McCance, R.A. 9, 17, 26, 29, 31, 37, 62
Medical Research Council 32, 62
Mekjavik, I.B. 35
Mercer, J.O. 17
Merriman 8
Metcalfe, T.E. 26
Millward, J.K. 32
Molnar, G.W. 14
Montréal 8, 75
Mortalités en haute mer 31
MV Miss Majestic 22

Naval Air Development Centre 35
Newburg, L.H. 28, 29, 30, 39, 40
Newhouse, M.L. 31
Newtons 8
Nicholl, G. 62
NMRI 28
Nomex 49, 56
Normes CEN 65
Normes DIN 65
Normes ONGC 79
Normes des Underwriters Laboratories
1123 65
1180 65
1181 65
1517 65
Norwegian Ship Institute 32
Noyade 7, 9
adolescent à Toronto 10
adolescents à Pouch Cove 11
décès consécutif à 14
femme à Chester Basin 11
femme de Chester 12
fêtards 11
pêcheurs les plus à risque 31
sans gilet de sauvetage 16
statistiques 28, 37, 46, 65, 66, 67, 77
Nunnely, S. 15
Nutec 37

Ocean Ranger 19, 35
Organisation maritime internationale 29, 34
OTAN, groupe 7 41

Pasche, A. 35, 36
Pask, E.A. 26, 31, 62, 64, 68
Patricia MacAlister, le 75
Peaux de printemps 1, 7
Peden, M.M. 65
Pergarde, M. 9
Personnes inconscientes dans l'eau 35, 63, 68, 69
Perte de dents 11
Pethybridge, R.J. 15
Pilotes de port 72
Pilotes fluviaux 66
Plate-forme d'exploitation pétrolière Hibernia 74
Polte, J.W. 30
Premières versions en mousse néoprène 29
Préposés aux ERC 72
Preservation of life at sea (guide) 9
Protection des doigts 39
Protection des pieds 47
Protection 9
Protektor, le 75
Provencher, J.D.M. 42
Pugh, L.G.C. 31

Radeaux de sauvetage
avec une combinaison en caoutchouc 8
mise à l'eau 9
transport de 2, 12, 17
Radeaux de sauvetage
Balsa 9
Denton 9
Spanner 9
RAF Institute of Aviation Medecine 31, 34
RAMM 68
Rapport Talbot 9, 26, 62
Rayonnement 13
Recrutement forcé 7
Reinke, M. 17
RGIT à Aberdeen 35, 36, 68
Riegel, P.S. 32
Riley, W.M. 35
RLS 2, 12, 16, 17
Romet, T.T. 37, 42, 45
Royal National Lifeboat Institution 61
Royal Navy
combinaison de sauvetage d'équipages de sous-marins 31, 36, 57
essais de combinaisons dans l'Arctique 31
examen des vêtements de protection d'aviateurs 31
Royal Navy Institute of Naval Medecine 10, 41
Royal Navy Personnel Research Committee 10, 29
Royal Society of Art 69

Sabordage 61
Scellage à chaud 56
Scellage par haute fréquence 57, 58
Schilling, R.S.F. 31
Seaforth Highlander, le 19
Shark Group 57, 58, 77
Shell, société 35, 57, 58, 77, 79
Shirley Institute 29
Sierra Engineering Co 68
Sierra Sam 68
Sjard, le 76
Sleipner, le 26
Smith, F.E. 43
SOLAS (sauvegarde de la vie humaine en mer) 2, 8, 9, 26, 61, 62, 64, 65, 68, 77, 79
Soupapes de sécurité à faible pression 51
Sowood, P.J. 42, 47
Spealman, C.R. 28, 29, 39
Stades de l'immersion 1, 10, 11, 15, 17, 22, 25, 49, 72, 75, 77, 79, 80
Steinman, A.M. 35, 42
Sterba, J.A. 20
Stoner, capt 7, 8
Storstad, le 25
Sturgeon, W.R. 36
Sullivan, P.J. 35
Survie en mer 14
Survival Systems Limited 43, 76
SWIM 68
Szpilman, D. 65

Taux de refroidissement avec une combinaison 33
Thinsulate 35, 36
Tikuisis, P. 14
Tipton, M.J. 10, 18, 20, 21, 25, 35, 36, 44, 46, 72
Tissu ventilé 29

Tissus, voir combinaisons d'immersion
Titanic, RMS 61
TNO, Pays-Bas 35
Transpiration imperceptible 41, 47
True North II, le 5, 7, 9, 22

Types de combinaisons
Aqua suit 34
Bayley 33, 34
Beaufort 33, 34
CWU-16/P 33
CWU-33P 33
Fitz-Wright 33, 34
Hansen, ventilé 33
Harvey 33
Helly Hansen 33, 34
ILC Dover 33
Imperial 33, 34
Jeltek 33
Lifeguard 34
Liukko 34
Manu 34
Multifabs 33, 34
Mustang 33
Nokia 34
Nord 15 34
O'Neill 30
Shipsafe 34
SIDEP 34
Unisuit 30
Viking 30
Wendyco 33
White Stag 30

Université Simon Fraser 35
University of Portsmouth 77
University of Surrey 57, 58
US Army Research Institute of Environmental Medecine 30
US Coast Guard 29, 31, 32, 35, 64, 68
règlement sur les VFI 65
chavirage d'un navire 73
US FAA TSO-C-13 65
US Lifesaving Service 31
U.S. Navy 30
essais pour la RN par la RCN 27
combinaison humide CWU-9P 31
combinaison sèche Mk4 30
combinaison sèche Mk5 30
essais de combinaisons (1955) 30
lenteur à mettre au point des combinaisons . . .27

Valeur clo 2, 27, 30, 37, 39, 45, 47, 59, 79
Valeur tog 27
Van Dilla, M. 29, 39, 40
Vanggaard, L. 7
Vestris, le 9, 61
Vêtements des pêcheurs 31, 32, 75
Vincent, M.J. 21, 25

Wahine, le 17
Wallingford, R. 18, 19
Ward, J.R. capt 7, 61
Werenkskiold, P. 32
White, G.R. 32
Willett, P. 7
William Carson, le 26
Wissler, E. 14, 15
Woodhouse, amiral 61
Wright Patterson AFB 30

Zephyr II, accident 19